Generated by Foxit PDF Creator © Foxit Software
http://www.foxitsoftware.com For evaluation only.

Высшее профессиональное образование

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ЛИТЬЕ В ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ

Учебник



Машиностроение

ACADEMIA

УДК 621.74(075.8)
ББК 34.61я73
Т384

Авторы:
А. П. Трухов, Ю. А. Сорокин, М. Ю. Ершов,
Б. П. Благонравов, А. А. Минаев, Э. Ч. Гини

Рецензенты:
зав. кафедрой «Технология литейного производства» Российского государственного технологического университета им. К. Э. Циолковского (МАТИ), д-р техн. наук, проф. *В. С. Моисеев*;
канд. техн. наук *И. Н. Васильев*

Т384 **Технология** литейного производства: Литье в песчаные формы: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. П. Трухов, Ю. А. Сорокин, М. Ю. Ершов и др.; Под ред. А. П. Трухова. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 528 с.
ISBN 5-7695-1757-3

Изложены основы технологии изготовления отливок в разовых формах из дисперсных материалов. Приведены расчеты литниковых систем, характер взаимодействия отливки и формы, особенности формирования точности размеров при проектировании и изготовлении деталей. Описаны литейные дефекты и методы их контроля.

Для студентов машиностроительных вузов и специалистов, занятых в области производства литых изделий.

УДК 621.74(075.8)
ББК 34.61я73

Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается

© Трухов А. П., Сорокин Ю. А., Ершов М. Ю., Благонравов Б. П., Минаев А. А., Гини Э. Ч., 2005
© Издательский центр «Академия», 2005

ISBN 5-7695-1757-3

ПРЕДИСЛОВИЕ

Продуктом литейного производства является отливка, которая используется как литая заготовка, если в дальнейшем частично или полностью подвергается механической обработке, и в отдельных случаях (см. гл. 16) как деталь, которая устанавливается в изделие без обработки.

Производство любого технического продукта непременно связано с использованием учения о совокупности и последовательности операций, о материалах, инструментах и машинах, применяемых в его производстве. Литейное производство также является многоматериальным, многооперационным сложнейшим технологическим процессом, изложению которого и посвящен данный учебник.

За долгий период существования литейного производства накоплены колоссальные знания в этой области, позволившие сделать определенные обобщения, разработать инженерные методы расчета, моделирования, создать программы для ЭВМ, на основе которых проводятся расчеты процессов заполнения формы, затвердевания отливки и т.д.

Знания данного предмета имеют довольно широкую область применения, связанную с литейным производством. Ориентировочно более 10 млн человек в мире имеют прямое или косвенное отношение к литейному производству, поэтому можно считать несомненным, что, несмотря на целевую направленность данного учебника на подготовку специалистов по конкретным специальностям, его материал окажется востребован более широкой читательской аудиторией.

Учебник написан сотрудниками кафедры «Машины и технология литейного производства им. П. Н. Аксенова» МГТУ «МАМИ» А. П. Труховым, Ю. А. Сорокиным, М. Ю. Ершовым, Б. П. Благонравовым, а также А. А. Минаевым (ООО «Минаев и партнеры») и Э. Ч. Гини (МГТУ им. Н. Э. Баумана). Предисловие и главы 1, 13—15 написаны А. П. Труховым, главы 2—5, 7—11, 16, 18 — совместно А. П. Труховым и Ю. А. Сорокиным, за исключением параграфа «Приготовление формовочных смесей» в подразд. 3.3.5 (автор М. Ю. Ершов), подразд. 5.1 (автор Б. П. Благонравов) и подразд. 18.6 (автор Э. Ч. Гини). Введение написал А. А. Минаев, главу 6 написали совместно М. Ю. Ершов, А. П. Трухов и Ю. А. Сорокин, главу 12 — Б. П. Благонравов и главу 17 — М. Ю. Ершов.

ВВЕДЕНИЕ

Исторический очерк о развитии литейного производства

Технология получения отливок известна человечеству с древнейших времен. Ее история начиналась на заре земных цивилизаций ранее 4 тыс. лет до н. э. За такой исторический период литейное производство превратилось в одну из отраслей промышленности, использующей наряду с древнейшими традициями все современные достижения науки и техники: компьютерные технологии, лазеры, электронику и автоматику, композиционные материалы, сплавы с заранее заданными свойствами, биотехнологии и др.

В современной научно-технической и исторической литературе отдельным вопросам и периодам развития литейного производства были посвящены работы многих специалистов в данной области: П. Н. Аксенова, Г. Ф. Баландина, А. А. Горшкова, Б. Б. Гуляева, Л. И. Леви, Л. М. Мариенбаха, Ю. А. Нехендзи, Г. М. Орлова, А. М. Петриченко, Б. В. Рабиновича, Н. Н. Рубцова, В. М. Шестопала и др.

Для развития литейной техники и технологии характерны некоторые общие закономерности, в частности расширение ассортимента применяемых природных материалов (в первую очередь по их прочности), постоянное совершенствование применяемых естественных и искусственных материалов (также по их прочности), рациональное количественное использование материалов, создание искусственных материалов с заранее заданными свойствами и др.

Кроме того, эволюция литейного производства определяется применением все более сложных источников энергии; возрастающей интенсивностью технологических процессов; увеличением числа их параметров; последовательным движением от использования механических процессов, физических и химических, к техническому воплощению биологических процессов, к замене машинами функций человека в литейном производстве: энергетической, транспортной функции, технологического изменения обрабатываемого материала, контрольно-измерительной и, наконец, логической.

Анализ и систематизация основных качественных изменений в развитии техники и технологии литейного производства позволили установить главные требования, предъявляемые машиностроe-

нием к своей заготовительной базе, — это прочность и точность производимых отливок.

На основе выявленных признаков выделены три основных периода развития техники и технологии литейного производства, начиная с момента зарождения машиностроения: конец XVIII в. — первая четверть XX в. — конец 1940-х гг. — конец XX в.

Техника и технология литейного производства в период конец XVIII в. — первая четверть XX в. В период мануфактурного производства в России были подготовлены материальные и экономические предпосылки машинного производства. Первые машиностроительные заводы в России, которые начали строить в конце XVIII в., были литейные.

Удешевление продукта и рост потребности самих металлургических заводов способствовали постепенному развитию машиностроения, которое в свою очередь дало металлургическим заводам средства для совершенствования и роста. Одновременно с машиностроительной индустрией возникли новые технические средства, являющиеся областью сбыта продуктов чугунолитейного производства, в частности развитие рельсовых путей, мостостроение, применение пара для движения судов (1807) и паровозов (1827) и т.д.

Важным моментом в развитии чугунолитейного производства с возникновением машиностроения явилось отделение процесса вторичной плавки чугуна, в основном ваграночной, от исходной металлургической базы. Новые архивные материалы подтверждают, что вагранки в России появились сначала при металлургических заводах для отливки предметов домашнего обихода.

Первая в России паровая машина с использованием литых деталей собственного производства была построена на Александровском металлургическом заводе в Петрозаводске (1790). Частный завод Берда (1792) в течение первых же лет с момента основания производил литые детали для паровых машин, токарных станков для Тульского оружейного завода, а также для паровых судов.

В 1846 г. в России были построены первые паровозы и вагоны широкой колеи (1524 мм) для Николаевской железной дороги (Петербург — Москва). Этот год считается началом отечественного заводского паровозо- и вагоностроения.

В области технологии формовки российские литейщики имели большой опыт по производству колоколов, пушек, который раскрыт в работе Н. Н. Рубцова [39]. Это была так называемая «медленная формовка», применявшаяся и в более ранний период. Данная непроизводительная технология, требующая повышенной квалификации литейщиков, сопряжена с высоким браком литья.

С развитием машиностроения возникла потребность в производстве большого количества точных однотипных отливок, которые стали формовать с помощью моделей и разъемных опок в

песчано-глинистые формы. Во второй половине XIX в. этот способ сделался основным при производстве машиностроительного литья, хотя в данном более прогрессивном методе формовки, как и в прежнем «медленном», весь процесс производства форм осуществляется в основном вручную. Эмпирический, рецептурный подход применялся как к подбору оптимальных составов формовочных смесей, так и к установлению необходимых физико-механических свойств отливки. В результате получаемые разнообразные составы смесей зависели от местных условий.

Даже в первом отечественном руководстве по чугунолитейному производству, написанном русским металлургом, горным инженером А. Ф. Мевиусом (1859), еще отсутствуют рекомендации о применении простейшей техники при формовке. Так, при описании основных способов формовки приведена следующая их классификация: 1) формовка в тощем или сыром песке: почвенная формовка (открытая, с сердечниками, с перекрышей); опочная формовка (в двух составных опоках, в трех и многосоставных опоках); 2) формовка в жирном сухом песке, или в так называемой массе; 3) глиняная формовка, или глиняная маска; 4) статуарная, или кусочная, формовка; 5) формовка или скорее отливка в металлических формах.

С середины XIX в. в литейных цехах начинают применять при изготовлении литейных форм механические приспособления, которые до 1870-х гг. применялись редко. Только в снарядном массовом производстве уже с 1860-х гг. использовались протяжные формовочные машины. По способу действия немецкий металлург того времени А. Ледебур подразделил формовочные машины на три категории: 1) осуществляющие протяжку модели из формы; 2) осуществляющие набивку формы формовочной смесью и протяжку модели; 3) обеспечивающие изготовление с помощью сегмента тел вращения, например формовку зубчатых колес, требующих большой точности при больших размерах.

Однако на долю машинной формовки приходилось лишь 8 % выпуска литья. С помощью машин формовались только мелкие отливки. Разделение труда в литейных цехах этого периода почти полностью отсутствовало, использовался последовательный режим работы. Формовщики занимались не только изготовлением форм, они также подготавливали формовочную смесь, вели заливку и выбивку форм. Практически литейщик выполнял все операции по изготовлению отливки, кроме плавки металла, приготовления облицовочных смесей и стержней. Основным типом литейщика того времени был не литейщик-оператор, а литейщик широкого профиля, который практически выполнял все функции. Техника литейных цехов ограничивалась установкой примитивных ручных консольных и тихоходных мостовых кранов и простейших бегунов, глиномялок, грохотов, барабанов для очистки полученного литья.

Потребность развивающегося машиностроения в более прочных конструкционных сплавах способствовала быстрому совершенствованию техники и технологии плавки. В этот период была изобретена технология получения отливок из отбеленного чугуна. В первом руководстве по чугунолитейному производству А. Ф. Мевиуса указывается, что валки с отбеленной поверхностью применялись не только для медеплющильных станков, но и для прокатки железа. Помимо отливки из отбеленного чугуна валков широкое применение в этот период получили литые чугунные колеса с отбеленным ободом.

До 1917 г. производство отливок из ковкого чугуна было крайне незначительно и имело преимущественно полукустарный характер. Ковкий чугун применяли главным образом в сельскохозяйственном машиностроении.

С развитием машиностроения возросли требования и к конструкционному материалу, из которого отливались детали машин. В первую очередь возросли требования к его прочности, а это вызвало переход к изготовлению изделий из литой стали, в связи с чем получили развитие разные способы ее производства. Появление нового более дешевого и быстрого способа получения стали — бессемеровского процесса (1856) — разрешало эту проблему. Первыми заводами в России, которые наладили у себя бессемеровский процесс, были Нижне-Салдинский на Урале и Обуховский в Петербурге.

Первая мировая война 1914—1918 гг. явилась мощным стимулом для производства предметов вооружения, послужила экзаменом, в частности, машиностроению и литейному производству. Большая потребность в снарядах, особенно крупных калибров, не могла быть удовлетворена производством одних лишь штампованных снарядов; развитие получил выпуск литых снарядов, производство которых оказалось более дешевым.

При производстве снарядов из сталистого чугуна заводам предоставлялась полная свобода выбора как способов получения металла, так и типов плавильных печей. В то же время по прочности сталистый чугун должен был строго удовлетворять техническим условиям, состоявшим из испытаний образцов на удар под копром и на разрыв. Например, образцы для испытания на разрыв должны были иметь предел прочности не ниже 230 Н/мм^2 (23 кгс/мм^2).

Для литья снарядов формовку вели самыми разными способами. Большие снаряды формовали в трех опоках (один разъем на центрирующем утолщении, а другой у дна снаряда, чтобы можно было подвести металл снизу через искривленный конец литника). Для изготовления снарядов применялась и машинная формовка. Способ быстрой формовки требовал особой формовочной смеси и специальной формы головки модели снаряда, обеспечивающей достаточное уплотнение формы. Модели, имевшие приблизитель-

Таблица В1. **Сведения о литейном производстве России к 1913 г.**

Вид отливок	Выпуск, т	Число цехов и участков	Средний выпуск отливок на одно предприятие, т	Число рабочих
Из серого чугуна	576 000	Нет сведений		
Из ковкого чугуна	7111	То же		
Из цветных, медных и других сплавов	23 405	232	2600	17 996
Из стали	77 153	46	1700	35 543
Итого	**683 669**	**278**	**2475**	**53 538**

но форму снарядов, впрессовывались под давлением в формовочную смесь, заполнявшую опоку, таким образом достигалось формообразование.

Освоение производства сталистого чугуна в последующем послужило основой для появления еще более совершенного модифицированного серого чугуна.

Доля машиностроения в выпуске продукции крупной промышленности составляла в 1913 г. всего 7 %. Внутреннее производство покрывало потребность страны в машинах не более чем наполовину. Удельный вес машиностроения России в мировом машиностроении в 1913 г. составил 3,5 %. К 1913 г. общее состояние литейного производства в России характеризовалось данными, приведенными в табл. В1.

По объему производства отливок из черных сплавов Россия в этот период занимала четвертое место в мире после США, Германии и Англии.

Техника и технология литейного производства в период от первой четверти XX в. до конца 1940-х гг. Этот период совпадает с осуществлением планов индустриализации советской республики, когда потребовались высокие темпы развития техники и технологии, в том числе и литейного производства. Массовый выпуск сложной продукции машиностроения должен был базироваться на массовом производстве отливок. Так появились конвейерные литейные цехи с параллельным режимом работы на заводах «Красный Путиловец», «Подольский механический», Сталинградский тракторный завод (СТЗ), Харьковский тракторный завод (ХТЗ), «Россельмаш», ГАЗ, ЗИЛ и др.

Для снабжения литьем группы машиностроительных заводов отдельных районов страны в Москве был построен завод «Станколит», в Ленинграде — «Ленстанколит» и в Тбилиси — «Тбилисский центролит». Основные технологические процессы формовки и производства стержней на этих литейных предприятиях целиком были переведены на машинную формовку с применением

встряхивающих и прессовых формовочных машин и пескодувных стержневых машин. Вагранка, как основной плавильный агрегат в чугунолитейных цехах новых заводов, оказалась хорошо приспособленной к непрерывной выдаче металла на конвейер. Принцип работы вагранок был сохранен, увеличена лишь их производительность, механизирована загрузка. Старые и реконструированные литейные цехи обеспечивали норму съема литья с 1 м^2 площади цеха примерно 2,0...3,5 т в год. Новые литейные цехи с непрерывным потоком производства увеличили эту норму до 10...17 т в год при годовом выпуске литья до 100 тыс. т.

Внедрение конвейерного поточно-массового производства отливок было гигантским скачком в развитии техники и технологии литейного производства, изменившим сам принцип его организации. Резко возросшая потребность в механизации всех других отраслей промышленности привела к созданию мощных заводов, обеспечивающих производство самого разнообразного оборудования для многих отраслей промышленности. Были созданы заводы по производству невиданного до сих пор тяжелого оборудования для металлургии, машиностроения и химии, в их числе «Уралтяжмаш», «Уралхиммаш», Краматорский машиностроительный и др. Развитие паровозостроения и вагоностроения также потребовало поставок высококачественного чугунного и стального литья. Характер продукции этих заводов для среднего и тяжелого машиностроения — единичное и мелкосерийное литье — связан с особым инженерным решением многих задач и технологии литейных цехов этих заводов. Потребовалось применение большого количества грузоподъемного и тяжелого оборудования, а также пескометной формовки. Для подобного рода машиностроительных заводов были построены литейные цехи как составная часть этих заводов (например, на «Уралтяжмаше»).

Овладение техникой и технологией массового производства литья в первую очередь связано с такими качественными показателями литья, как прочность (например, для серого чугуна σ = 300... 480 Н/мм^2) и точность отливки. Основным чугуноплавильным агрегатом в литейных цехах оставалась вагранка, а главные технологические процессы формовки были переведены на машинную формовку с применением встряхивающих и прессовых формовочных машин, обеспечивающих получение более точного литья и освобождающих формовщиков от энергетических, транспортных функций и функции технологического изменения материала при производстве форм и стержней, т.е. от тяжелого ручного труда.

С 1933 г. предприятие «Красная Пресня» становится первым в стране специализированным заводом по производству литейной техники. Заводом «Красная Пресня» в 1928 — 1929 гг. выпущено 119 литейных машин, в 1930 г. — 411, в 1931 г. — 763, в 1932 г. — 1166. Для сравнения, в США в это время около 40 предприятий

занимались производством литейного оборудования, которые только в 1929 г. изготовили 5,5—6 тыс. формовочных машин.

В 1930 г. на заводе «Красная Пресня» впервые выпускаются пневматическая встряхивающая машина типа машины Баденского завода и прессовая пневматическая машина со штифтовым подемом, которые заменяют старые ручные машины.

К числу выпускаемых стержневых машин относятся шнековые машины, машины для круглых стержней типа «Перфект», машины для фасонных стержней типа «Осборн-42» и др.

Смесеприготовительное оборудование того периода представлено усовершенствованной конструкцией бегунов типа «Симпсон-2», которые вытеснили бегуны старой конструкции с нижним и верхним приводом, а старые машины для подготовки формовочной смеси были заменены аэраторами типа «Рапа» производительностью 40 $м^3$/ч и машиной «Ройер» производительностью 10 $м^3$/ч.

На основе конструкторского бюро завода в 1937 г. организовано Центральное конструкторское бюро литейного оборудования (ЦКБЛО). В этот период резко изменились структура выпускаемой литейной техники и удельный вес ее отдельных групп (табл. В2).

По сравнению с периодом 1929—1932 гг. возрос удельный вес пневматических, формовочных и стержневых машин за счет снижения использования ручных и смесеприготовительных машин. Кроме того, появился новый вид литейного оборудования — выбивные машины. К 1937 г. в литейном производстве страны было задействовано 14 тыс. разных машин и освоено 56 новых типов машин. Ранее выпускавшиеся встряхивающие и прессовые формовочные машины постепенно вытеснялись более производительными формовочными машинами типа «Осборн» моделей 275, 332, 333, 405, 702, «Лансберг» (полуавтомат), «Никольс», «Герман» и др. Наряду с этими образцами на заводе разработана оригиналь-

Таблица В2. **Литейное оборудование СССР в 1937 г.**

Литейные машины	Число единиц литейного оборудования	Удельный вес оборудования каждого вида в общем выпуске литейных машин, %
Формовочные, ручные	242	0,5
Формовочные, пневматические	958	39,0
Стержневые, ручные	138	0,5
Стержневые, пневматические	463	5,0
Смесеприготовительные	2408	44,0
Очистные	313	8,5
Выбивные	199	2,5
Всего	**4721**	**100**

ная отечественная конструкция ручных машин со штифтовым подъемом, имеющая ряд преимуществ по сравнению с иностранными машинами этого типа.

Одношпиндельная ручная машина для круглых стержней типа «Перфект» была заменена более производительными пневматическими пескодувными машинами типа «Демлер» и «Осборн», обеспечивающими изготовление более сложных стержней. Заводом «Красная Пресня» в 1937 г. освоена оригинальная конструкция многоплунжерной стержневой машины-автомата системы инженера Б. З. Черняка для массового изготовления цилиндрических или призматических стержней. Кроме указанных машин были освоены машины типов «Осборн-40», «Осборн-93» и «Чемпион».

Изготовленная на заводе «Красная Пресня» формовочная машина типа «Никольс-18» производительностью 800 опок в смену освобождала в случае ручной формовки тех же деталей и за то же время не менее 20 человек. Внедрение формовочной машины типа «Герман», например на ХТЗ, привело к значительному повышению точности отливок и уменьшению массы формуемой и отливаемой рамы трактора на 40 кг.

Завод «Красная Пресня» в тот период выпускал более совершенные и мощные смешивающие бегуны типа «Симпсон № 2» и «Симпсон № 3» (последние с индивидуальным электроприводом), а в 1933 г. был выпущен мощный дезинтегратор производительностью 10 $м^3$/ч с индивидуальным электроприводом.

Значительное усовершенствование претерпела смесеприготовительная техника, учитывались опыт и потребности вновь созданных мощных цехов. Для усовершенствования очистных барабанов внедрена очистка струями песка, освоены пескоструйные столы и пескоструйные камеры. Выбивные машины были представлены пневматическими решетками, вибрационными коромыслами, пневматическими толкателями и выбивными горизонтальными машинами для выбивки стержней и т. д.

Около 80 % всего литейного оборудования страны выпускалось на заводе «Красная Пресня», остальное составляли литейные машины, выпускаемые другими предприятиями, в числе которых Горловский завод им. С. М. Кирова, мастерские Днепропетровского индустриального института, Усманский завод и т. д. или заводы-потребители, производящие оборудование для нужд своих цехов, — ЗИЛ, ГАЗ, «Станколит», завод им. П. И. Войкова и др.

Несмотря на успехи отечественного литейного машиностроения, выпуск литейного оборудования в стране составлял лишь 6 % производимого в США количества формовочных машин по видам, 15 % выбивного оборудования и в среднем 11,3 % по учтенным группам литейного оборудования.

Недостаточным было также изготовление лабораторной аппаратуры для литейных цехов. Приборы для испытания формовоч-

ных смесей, выпускаемые на Усманском заводе, не удовлетворяли потребности в них. Тем не менее дальнейшее совершенствование литейной техники продолжалось. Разрабатывались и осваивались крупные формовочные машины типа «Герман» с подъемной силой 3...5 т, формовочные машины с разделением операций встряхивания, прессования и выема модели, пескометов стационарного и передвижного типов, машин для литья под давлением и др. В 1940 г. налажен серийный выпуск 32 моделей машин, в том числе четырех машин для литья в металлические формы. Всего в 1940 г. выпущена 421 литейная машина. К 1941 г. в литейном производстве страны было задействовано более 32 тыс. различных машин. Специальное печное оборудование нельзя было изготовлять местными силами. В то время в США около 40 фирм были заняты изготовлением печного оборудования для литейных цехов, в Германии — около 35, в Англии — 25, а в СССР эту задачу решала только одна организация.

Постоянно растущие требования к качеству литья и непрерывная борьба за снижение брака вызвали усиление контроля технологического процесса. К этому времени в большинстве литейных цехов имелась необходимая контрольная аппаратура отечественного производства, в частности для испытания формовочных материалов.

Начало изучения формовочных материалов в СССР связывают с первыми публикациями по этому вопросу в 1926 г. Позже начались работы в этой области в научно-исследовательских институтах и на заводах Москвы и Ленинграда. Были обследованы месторождения и изучены свойства формовочных песков в районах Москвы (Люберецкое месторождение), Ленинграда, Тамбова и Липецка. Эти формовочные материалы и до настоящего времени сохранили большое значение для литейного производства.

В 1931 г. организован трест «Союзформолитье», на который были возложены задачи изыскания новых месторождений, их разработки для снабжения заводов формовочными песками, производства аппаратуры для испытания песков и др. К работам по изучению свойств формовочных материалов приступили тогда же специалисты-литейщики ЦНИИТмаша, Оргавтопрома, Московского автозавода и др. В результате появились разработки стандартных методов исследования и испытания формовочных материалов и смесей, введены в действие стандарты на формовочные пески и глины. Были начаты исследования взаимодействия жидкого металла и литейной формы. Большое влияние на развитие учения о формовочных материалах оказали работы ученых П. П. Берга, К. Н. Карлова, И. Б. Куманина, А. М. Лясса, С. К. Колачевой, А. А. Рыжикова, А. Л. Туманского и др.

Для предотвращения пригара и улучшения поверхности отливок стали широко применять маршаллит (пылевидный кварц). Поз-

же этот материал был использован и для изготовления форм при производстве литья по выплавляемым моделям.

Для сокращения расхода свежих формовочных песков отработанные смеси подвергали процессу восстановления, получившему название «регенерация».

Для подготовки инженерно-технических работников быстро развивающегося литейного производства в нашей стране были созданы специальные литейные кафедры в МВТУ (ныне МГТУ) им. Н. Э. Баумана, в МИСиСе, в Ленинградском политехническом, Уральском политехническом, Киевском политехническом, Харьковском политехническом и ряде других институтов. Наряду с подготовкой специалистов-литейщиков сотрудники этих кафедр развернули научную деятельность. Был организован выпуск специальной технической литературы и учебников. Научно-исследовательские работы в области литейного производства велись и в научно-исследовательских институтах, например, в ЦНИИТмаше (Москва), Институте металлов (Ленинград) и др. Первая советская научно-исследовательская лаборатория по литейному производству была организована профессором П. П. Бергом в 1929 г. в ленинградском Институте металлов. На базе заводских лабораторий также решались конкретные задачи, способствующие развитию литейного производства. Так было с переделкой печей Дресслера. Данные изыскания, начатые на ЗИЛе, явились результатом специальных научно-исследовательских работ, проводимых совместно с литейным отделом ЦНИИТмаша. На заводе «Россельмаш» под руководством М. М. Закладного глубоко изучались вопросы теории графитизации белого чугуна, на ЗИЛе исследовались вопросы использования горшков для отжига из халиловских чугунов и др.

Дальнейшему развитию ваграночного процесса способствовало открытие положительного влияния на свойства чугуна его высокотемпературного перегрева. Так как главенствующее значение в процессах ваграночной плавки имеют металлургические особенности процесса, их изучение позволило решить ряд важных задач, в частности задачу получения низкоуглеродистого чугуна, со снижением при этом расхода стали в результате использования вагранок с горном небольшой высоты и замены части холостой коксовой калоши силикатной калошей.

Новые данные об особенностях горения углерода были использованы профессором Л. М. Мариенбахом для разработки конструкции вагранки с двумя и тремя рядами фурм. В отличие от иностранных вагранок в отечественных вагранках с многорядным фурменным поясом дутье вводится в сравнительно узкую область холостой калоши, что приводит без увеличения расхода топлива к повышению производительности агрегата и к бóльшему перегреву чугуна.

В 1938 г. в Академии наук СССР был заслушан доклад М. Г. Евангулова и Ю. А. Смирнова на тему «Автоматизация и телемеханиза-

ция в литейном производстве», в котором делался вывод о возможности применения принципов автоматизации во всех областях литейного производства, которые позволят поднять литейную технику на более высокий уровень.

Развитие литейного производства в 1930—1940 гг. создало благоприятные условия для высоких темпов развития машиностроения и металлообработки. По объему выпуска отливок Советский Союз уже в 1936 г. занял первое место в Европе и второе место в мире после США. За десять лет производство чугунного литья возросло в 5, ковкого чугуна — в 12 и стального литья — в 18 раз.

Быстрый рост промышленности СССР того периода был прерван войной. К началу Великой Отечественной войны общий выпуск литья в стране составлял приблизительно 6 млн т в год. Притом свыше 85 % всего производимого литья приходилось на долю вновь построенных или полностью реконструированных цехов.

Непрерывно возрастающие требования развивавшегося машиностроения к качеству литья вызвали усиление научного контроля технологических процессов. Целенаправленным стало применение теоретических достижений металлургии, металлографии, физики и физической химии к разрешению практических задач литейного производства. Впервые в отечественной литературе А. Н. Егорновым было сформулировано теоретическое объяснение процесса модифицирования. К изучению свойств формовочных материалов приступили лаборатории ЦНИИТмаша, Оргавтопрома, ЗИЛа и др. Большую роль в развитии учения о литейных машинах сыграла научная школа МВТУ им. Н. Э. Баумана и Института стали, возглавлявшаяся профессором Н. П. Аксеновым, а в дальнейшем кафедра «Машины и технология литейного производства», созданная в 1942 г. в МАМИ как общетехническая, а с 1943 г. ставшая профилирующей, которую возглавил профессор П. Н. Аксенов.

В период Великой Отечественной войны с целью ускорения производства отливок успешно была решена задача получения в кокилях отливок из чугуна, стали и цветных сплавов. Большие работы были проведены по изысканию заменителей дефицитных шихтовых и формовочных материалов.

Техника и технология литейного производства в период 1950—1990-е гг. В истории машиностроения на этот период приходится создание специализированной отрасли литейного производства — литейного машиностроения. За последние 50 лет литейное машиностроение прошло ряд этапов своего развития. Литейная техника начального периода заменяла только энергетическую, транспортную функции человека, а также его функцию технологического изменения материала. Благодаря созданию машин с автоматизированным циклом работы стала возможна замена и контрольно-измерительной функции человека. В настоящее время выпускают-

ся автоматические линии, управляемые ЭВМ, т. е. заменяется последняя функция человека в производстве — логическая.

В области техники и технологии плавки литейных сплавов перспективными являются прямая электроплавка черных металлов в индукционных, вакуумно-индукционных, плазменно-индукционных и дуговых печах, а также дуплекс-процессы с применением электропечей. Созданы магнитодинамические установки бесковшовой заливки, позволяющие более эффективно управлять процессами приготовления сплавов, внепечной обработки, формирования и кристаллизации отливок.

Благодаря модифицированию, легированию и термической обработке созданы новые типы чугунов с особыми физическими свойствами. На основе достижений отечественной (ЦНИИТмаш, ГАЗ, НИИСЛ и др.) и зарубежной науки разработана технология получения структурного графита шаровидной формы, обеспечившая повышенную прочность чугуна σ около 1200 Н/мм^2 (120 кгс/мм^2). Особый интерес представляет новый вид чугуна с вермикулярной формой графита (разработки ЦНИИТмаша).

В перспективе значительно уменьшится доля отливок углеродистой стали, тогда как производство отливок из стали, модифицированной редкоземельными элементами (РЗМ), непрерывно растет. Наиболее перспективны экономнолегированные, а также ванадиевые стали. Управление природой включений и структурой стали для получения заданных ее свойств — путь, на котором возможен значительный прогресс в сталелитейной технологии.

Продолжает совершенствоваться технология литья из цветных сплавов и, в первую очередь, из алюминиевых и магниевых сплавов. В последнее время сравнительно широкое применение получило изготовление отливок из титановых сплавов. Большое развитие получили композиционные материалы, применяющиеся для отливок, работающих в сложных термодинамических условиях, например в турбо- и ракетостроении, где требуются материалы с повышенными физико-механическими свойствами.

Перспективными являются технологические процессы, разработанные в ЦНИИТмаше совместно с заводами тяжелого машиностроения и станкостроения. Эти процессы основаны на затвердевании формовочной смеси с органическими или неорганическими связующими материалами с заданными свойствами в оснастке. При этом удается значительно повысить точность размеров отливок. Для данной технологии характерны следующие перспективные направления: замена горячих технологий холодными; уменьшение доли связующих благодаря упрочнению добавок; использование связующих на основе протеина и др. Большой интерес представляет разработанная во ВНИИлитмаше технология изготовления формовочных смесей, основанная на техническом применении биологических процессов.

Интенсивные научно-практические исследования в области специальных способов литья содействовали увеличению их доли в общем выпуске литья. Так, например, с развитием турбореактивной авиации потребовалось массовое изготовление деталей высокой точности размеров и сложной конфигурации. Данная сложная техническая задача была решена воспроизводством на промышленной основе известного с древнейших времен способа литья по восковым моделям, применявшимся для единичного изготовления высокоточных художественных отливок.

Была осуществлена комплексная автоматизация в области кокильного литья, также известного с древнейших времен.

Литье под давлением на всем протяжении своего существования расширяло ассортимент вовлекаемых все более и более тугоплавких литейных сплавов. В последнее время успешно ведутся работы по применению литья под давлением для сталей.

Развитие специальных способов литья осуществляется и по пути разработки новых способов, наример, таких, как способ электрошлакового литья, разработанный в Институте электросварки имени Е. О. Патона в Киеве; высокопроизводительный способ непрерывного литья для получения отливок сложного профиля, а также производства уникальных отливок для атомной отрасли — контейнеров для хранения отработавшего ядерного топлива.

Следующим важнейшим направлением, характеризующим развитие техники и технологии литейного производства, явилось повышение его концентрации и специализации. Большую роль в развитии этого направления сыграла разработка новой методики проектирования литейных цехов и заводов с использованием типовых проектов. Значительный успех литейного производства в этот период ознаменован появлением литейных цехов-заводов ВАЗа и КамАЗа, оснащенных на основе лучших достижений отечественной и зарубежной техники и технологии.

В настоящее время литье в сырые формы является самой распространенной технологией в цехах массового производства. Значение этого процесса сохранится в обозримом будущем. В последние годы метод изготовления сырых форм получил дальнейшее развитие благодаря созданию и эффективному использованию автоматических линий.

Широко внедряется пескометный способ набивки литейных форм, чему способствует освоение производства пескометов с дистанционным и программным управлением.

Специалистами ТНИИСа и ВНИИлитмаша разработано программирующее устройство для автоматизации процесса пескометной формовки. Применение методов программного управления при набивке литейных форм позволяет существенно стабилизировать рабочий процесс, увеличить производительность и оздоровить условия труда. На бывшем заводе «Станколит» в качестве объекта

управления был взят пескомет модели 296М производительностью до 25 м^3/ч по уплотненному объему смеси, используемой для изготовления средних и крупных форм.

Для изготовления литейных стержней распространение получили пескометные машины, серийный выпуск которых налажен на ряде заводов литейного машиностроения. На заводах внедряется разработанный ВНИИлитмашем процесс сушки и охлаждения форм под вакуумом, позволяющий значительно сократить цикл изготовления чугунных отливок и повысить стабильность их свойств.

При всех своих преимуществах литье в сырые песчаные формы имеет недостатки, в числе которых непроизводительная переработка около 70 % формовочных смесей, не участвующих в процессах формирования отливок.

Для покрытия расхода песка необходимо расширение старых и введение в строй новых карьеров. Так, в 1974 г. для нужд литейного производства страны потребовалось 20,3 млн т формовочного песка. В настоящее время ежегодный расход свежих песков в литейных цехах составляет около 14 млн т, и каждая тонна песка перевозится в среднем на расстояние 700 км. Поэтому сокращение расхода свежих песков должно значительно улучшить экономические показатели литейного производства и способствовать решению экологических проблем.

Значительный интерес в связи с этим представляет разработанная ВНИИлитмашем технология приготовления формовочных и стержневых материалов и смесей. В новой технологии для упрощения процесса приготовления и уменьшения расхода освежающих добавок при обеспечении технологических свойств предусматривается введение искусственно выращенных микроорганизмов.

Расход формовочного песка на 1 т годных отливок составлял в нашей стране в 1960 — 1974 гг. в среднем 809...864 кг, в то время как в США за период 1960 — 1971 гг. израсходовано всего 410... 440 кг, т. е. в 2 раза меньше.

В литейном производстве в настоящее время применяют свыше 100 различных технологических процессов изготовления стержней и форм, более 400 видов связующих материалов и свыше 300 различных противопригарных покрытий.

Развитие современных технологических процессов показывает, что изготовление форм и стержней в литейном производстве вступило в период, когда современные средства механизации и автоматизации, резко сокращающие и исключающие ручной труд и существенно увеличивающие производительность труда, основываются, как правило, на использовании новых свойств и новых составов формовочных смесей. Период широкого использования сырых стержней, в значительной степени снижающих точность отливок, давно прошел. Перспективными, отвечающими современным требованиям литейного производства, являются процес-

сы, в которых затвердевание стержней, изготовленных из смесей с органическими и неорганическими связующими материалами, происходит в оснастке, что повышает точность размеров стержней и отливок. Примером могут служить быстротвердеющие смеси.

В нашей стране быстротвердеющие смеси с жидким стеклом для литейного производства получили промышленное применение с 1949 г. благодаря работам, проведенным специалистами ЦНИИТмаша и заводов тяжелого машиностроения и станкостроения.

С быстрым распространением холоднотвердеющих смесей в литейном производстве возникает острая проблема регенерации этих смесей, так как для изготовления 1 т отливок с применением формовочных смесей на смолах холодного отверждения (ХТС) требуется в среднем 3 т песка. Применение технологии изготовления форм из ХТС без использования регенерата экономически нецелесообразно. Кроме того, если учесть, что в ближайшем будущем разработка месторождений формовочных песков, как уже отмечалось выше, резко сократится, то ясно намечается тенденция к возрастанию использования технологических процессов с экономным расходованием формовочных материалов. Примером может служить V-процесс, магнитная формовка и др. Актуальным является решение проблемы регенерации формовочных смесей с использованием всех достижений науки и техники. Для регенерации ХТС рекомендуются механический и термический методы при явных экономических преимуществах механического метода. Гидравлический метод для регенерации ХТС не используется, так как пленки смолы нерастворимы в воде.

В литейном производстве операция выбивки стержней, особенно стержней крупных и сложных отливок, является одной из наиболее трудоемких и тяжелых операций. Трудоемкость очистки литья составляет 20...25 % трудоемкости изготовления отливок.

В начале XX в. стержни из крупных отливок удаляли обычно при помощи лома, кувалды, отбойного пневматического молотка. Такой метод, естественно, давал низкую производительность и был сопряжен с интенсивным выделением пыли, что делало условия работы на этой операции крайне вредными.

Проблема очистки литья была решена путем создания принципиально нового метода, основанного на использовании электрогидравлического эффекта. Метод был изобретен и разработан в 1950-х гг. в нашей стране. В Николаевском ЦКБ электрогидравлики разработаны и изготовляются машины для очистки литья на основе электрогидравлического эффекта.

Результатом общего кризиса 1990-х гг. стало закрытие многих литейных цехов в стране. Выпуск отливок в России резко снизился с 16 до 6,2 млн т в 2002 г. (по экспертным оценкам). После распада СССР из одиннадцати заводов, выпускающих литейное оборудо-

вание, в России остались только три: ОАО «Сиблитмаш», ОАО «Амурлитмаш» и ОАО «Усманский завод литейных машин».

По данным Российской ассоциации литейщиков, литейное производство в настоящее время стабилизировалось, однако восстановление ряда литейных цехов и научно-исследовательских организаций весьма проблематично.

Анализ основных направлений развития литейного производства в XX в. на базе его патентно-информационной модели. Изобретения являются достоверной информационной базой, отражающей основные направления развития литейного производства, которая может служить основой для отраслевой информационной модели, поскольку структура и динамика изобретательской активности являются объективными показателями состояния развития литейного производства.

Обсуждая современное состояние и перспективы возрождения литейного производства России, специалисты отрасли называют следующие первоочередные мероприятия:

- создание банка данных по материалам, технологиям, оборудованию с целью оценки научно-технического потенциала литейного производства;
- разработка концепции реструктуризации литейного производства;
- повышение качества литья, а следовательно, и конкурентоспособности продукции литейного производства;
- дальнейшее освоение компьютерной техники и ее внедрение в литейное производство.

Многолетняя ретроспектива информационной модели и несомненный потенциал упреждения изобретений позволяют использовать информационную модель для анализа и проведения прогнозных расчетов развития литейного производства.

Динамика появления изобретений как закономерность имеет характер чередуемых подъемов и спадов при преимущественном росте числа изобретений. Причем даже при снижении числа изобретений на макроуровне научный и технический прогресс в отрасли не останавливается.

В условиях нестабильной и особенно кризисной экономики характер изобретательской активности приобретает отличительные черты. Закономерностью для литейного производства стал общий спад числа изобретений, и единичные, даже высокоэффективные изобретения не могут преодолеть отрицательного влияния общего снижения творческого потенциала.

При резком замедлении динамики создания изобретений в литейном производстве поиски выхода из ситуации должны базироваться прежде всего на изучении структуры изобретательской активности, выявлении направлений, определяющих в максимальной степени процесс получения научных и технических достиже-

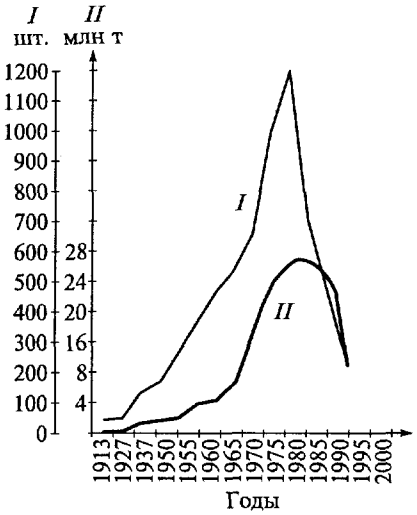


Рис. В1. Динамика регистрации изобретений по литейному производству в России (кривая *I*) и динамика выпуска отливок в год (кривая *II*)

ний. Знание такой структуры позволяет оценить долю вклада каждого направления в процесс развития литейного производства и с учетом взаимных связей этих направлений обоснованно подойти к распределению ресурсов, к принятию управленческих решений при формировании приоритетных направлений развития литейного производства.

Яркой отличительной чертой развития литейного производства в XX в. был динамичный рост научно-технической и патентной информации. В этом можно убедиться, сопоставляя динамику регистрации изобретений по литейному производству в России (кривая *I* на рис. В1) с динамикой нарастания выпуска отливок в год (кривая *II*). Для анализа в основном использованы бумажные носители патентной информации, но применение полученной информационной модели может быть эффективным и для современных машиночитаемых носителей информации по литейному производству.

Информационную модель можно использовать для формирования содержательной части прогноза развития литейного производства, для выявления долгосрочных (устойчивых) тенденций, влияющих на развитие отрасли, с тем чтобы оценить и определить перспективные направления развития техники и технологии литейного производства.

К концу XX в. значительно возросло патентование отливок в качестве промышленных образцов — изделий дизайна. Это свидетельство того, что продукция литейного производства — отливки — оценивается как соответствующие не только техническим показателям (прочности и точности размеров), но и требованиям новизны и оригинальности, т.е. отливки являются продуктом дизайнерской деятельности и обладают эстетическими и эргономическими особенностями.

ГЛАВА 1

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

В настоящее время известны 54 способа литья. Общепринятое определение способа литья пока не сформулировано. Имеются предложения определять способы литья по классификационным признакам, число которых по разным источникам [18, 48] колеблется от пяти до десяти. Приведем шесть главных классификационных признаков:

- основа материала формы;
- природа связующих добавок;
- тип оснастки;
- способ уплотнения (упрочнения);
- способ заливки;
- способ воздействия на жидкий расплав в процессе кристаллизации.

Каждый способ литья отличается от других хотя бы по одному из этих признаков. Из 54 способов литья 35 (64 %) основаны на использовании дисперсных материалов, в основном это традиционные способы литья в объемные формы из дисперсных материалов. Остальные способы литья относятся к специальным способам (видам). Определение специального способа (вида) литья также не сформулировано, однако общепринято специальными считать способы, которые описаны в учебнике [47].

1.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМАХ

В данном учебнике рассматривается технология способов литья, относящихся к объемным формам из дисперсных материалов. На схеме (рис. 1.1) представлен один из вариантов технологического процесса изготовления отливок в разовые песчано-глинистые формы.

Техническим заданием для литейного цеха является чертеж детали (*Д*), на основании которого производится разработка технологического процесса (*Т*). Исполнение задания начинается с подготовительных работ по обеспечению шихтовыми материалами (*Ш*), исходными компонентами и приготовлению формовочных и стержневых смесей (*См*), проектированию и изготовлению

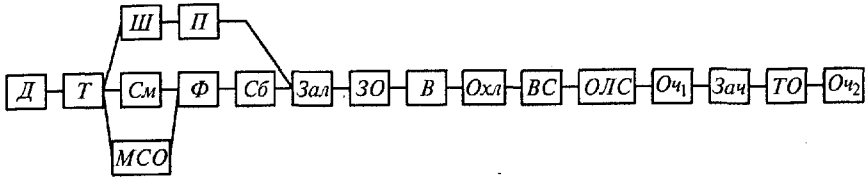


Рис. 1.1. Структурная схема технологического процесса изготовления отливок в разовые песчано-глинистые формы

модельно-стержневой оснастки (*МСО*). Шихтовые материалы расплавляют в плавильных печах (*П*), из формовочных и стержневых смесей изготавливают формы и стержни (*Ф*). Готовые формы и стержни собирают (*Сб*) и заливают расплавленным металлом (*Зал*). В залитых формах металл затвердевает, превращается в отливку и охлаждается (*ЗО*) до температуры выбивки (*В*), после достижения которой отливку выбивают, и далее она охлаждается на воздухе (*Охл*) до температуры 50 °С, при которой разрешаются технологические операции с отливкой: из отливки выбивают стержни (*ВС*) и осуществляют отделение литниковой системы и прибылей (*ОЛС*). Операция отделения от отливки пригоревшей формовочной и стержневой смеси называется первичной очисткой ($Оч_1$), операция удаления заливов, швов, заусенцев называется зачисткой (*Зач*), затем следует термическая обработка (*ТО*) отливки, после чего возможна вторичная ее очистка ($Оч_2$).

1.2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Первым шагом к анализу процессов изготовления отливок является их классификация. Различные классификации данного процесса приведены в работе [18]; классификация основ материалов литейных форм; классификация модельно-опочной оснастки; классификация способов уплотнения дисперсных формовочных материалов; классификация способов заливки.

Некоторые задачи литейного производства (заливка формы, затвердевание отливки, расчет литниково-питающих систем, расчет параметров уплотнения формовочной смеси и т. п.) в настоящее время решены или решаются с использованием математических методов и ЭВМ.

Однако такой подход можно реализовать только для отдельных процессов сложного многоматериального многооперационного технологического процесса изготовления отливок. В целом технологический процесс, как отмечено выше, состоит из отдельных этапов, представляющих, в свою очередь, также сложные технологические

процессы (например, плавка, смесеприготовление, изготовление модельно-стержневой оснастки т. п.). Таким образом, если рассматривать технологический процесс изготовления отливок в целом, то создать его математическую модель и математическое описание от исходных материалов до получения готового продукта — отливки в настоящее время практически невозможно. Отсюда возникает сложность задачи по управлению качеством отливок, т. е. неизбежны брак отливок, длительная отладка технологии из-за низкой воспроизводимости результатов воздействия. Справедливым является афоризм литейщиков: «брак пришел и ушел», в котором учитывается то обстоятельство, что одновременно (иногда разными людьми) проводится опробование изменения разных параметров, но остается неизвестным, какое из них устранило брак.

При анализе, построении, обеспечении надежности, управлении и оптимизации процесса литья целесообразно использование системного анализа (подхода), который составляет методологическую основу решения сложных проблем (задач). При этом применяют статистические методы, теорию множеств, логический анализ и синтез, теорию распознавания образов, теорию графов, сетевого планирования и управления.

Примером использования системного анализа с применением статистических методов может служить нормирование точности отливок с анализом факторов, влияющих на точность, разработкой ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) и рекомендательных таблиц для назначения классов и степеней точности отливок (подробнее см. гл. 16).

Следует заметить, что для составления рекомендательных таблиц выделены обобщенные параметры, в том числе: собственно технологический процесс изготовления отливок (способ литья); вместо этапа «плавка» (см. рис. 1.1) использован «вид сплава»; из этапа «смесеприготовление» использованы три характеристики формовочной смеси: прочность $\sigma_{и}$, твердость (по твердомеру 04412А(071)) и влажность; из этапа «изготовление модельно-стержневой оснастки» выделен материал оснастки и обобщенный параметр — серийность производства; сборка форм отражена в уровне механизации и автоматизации; технологическая дисциплина в обобщенном виде включена в параметр «культура производства», термическая обработка отражена в непосредственном виде и по факту (есть, нет). Наконец, параметры отливки — это наибольший габаритный размер и «сложность отливки», принятая в простой градации: простая, средней сложности и сложная. Параметры отливки, очевидно, определяют влияние на точность отливки процессов взаимодействия отливки формы, которые происходят при заливке, затвердевании и охлаждении.

Из изложенного ясно, что при комплексном подходе анализ и его результат зависят от поставленной задачи. Кроме того, при

современном уровне знаний выделение факторов, оценка их взаимодействия носят приближенный субъективный характер. Экспериментальная оценка факторов заключается в статистической обработке данных, относящихся к готовому объекту — в нашем случае к отливке. Безусловно, необходимо накопление данных, увеличение числа анализируемых факторов и приближение различного уровня моделей к реальным процессам.

На уровне обобщенных параметров удалось создать технологическую дискретную модель формирования точности, которая подвергалась и непрерывно подвергается производственной проверке, в общем и целом соответствуя реальной точности отливок. При использовании обобщенных параметров в ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) предполагается, что технологическая дисциплина изменяется дискретно в соответствии с низкой, средней и высокой культурой производства.

Системный анализ был использован в работах ВНИИлитмаш для определения необходимых и достаточных контролируемых показателей качества бентонитовых глин. При этом применен метод корреляционного анализа зависимостей показателей качества между собой по значениям коэффициентов парной корреляции [52].

Основой для определения коэффициентов парной корреляции являются статистические данные. При этом для определения коэффициентов парной корреляции необходимо иметь результаты испытаний не менее 56 партий бентонита. Результаты испытаний подвергаются статистической обработке, при этом определяются коэффициенты парной корреляции.

Испытания проводили на дашуковском бентоните по следующим восьми показателям:

1 — предел прочности при сжатии во влажном состоянии на технологической пробе;

2 — предел прочности при разрыве в зоне конденсации на технологической пробе;

3 — водопоглощение;

4 — концентрация водородных ионов (pH);

5 — содержание катионов кальция;

6 — содержание катионов магния;

7 — содержание катионов натрия и калия;

8 — расход активирующего компонента (Na_2CO_3).

Полученные статистической обработкой результатов испытаний коэффициенты парной корреляции представляют в виде матрицы (табл. 1.1).

Цифрами 1—8 по горизонтали и по вертикали обозначены приведенные выше показатели качества.

Положительные и отрицательные (со знаком «–») значения коэффициентов парной корреляции указывают соответственно на прямое и обратное направления изучаемой зависимости.

Таблица 1.1. **Матрица коэффициентов парной корреляции восьми показателей**

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		0,0511	0,1665	0,4651	–0,0856	–0,2714	0,2431	0,2998
2	0		0,5575	0,0374	–0,2038	–0,5079	0,2766	0,2708
3	0	½		0,4056	–0,7261	–0,5885	0,8269	0,7949
4	½	0	½		–0,2897	–0,3723	0,4516	0,4060
5	0	0	–1	0		0,3568	–0,7686	–0,7486
6	0	–½	–½	0	0		–0,7033	–0,7080
7	0	0	1	1/2	–1	–1		0,9840
8	0	0	1	1/2	–1	–1	1	

Интерпретируются значения коэффициентов следующим образом: величины от +0,7 до +1 (или от –0,7 до –1) принимаются за линейную сильную прямую (или обратную) связь, а величины от +0,4 до +0,7 (или от –0,4 до –0,7) — за линейную слабую прямую (или обратную) связь. По результатам исследования значимости коэффициентов построены графы (рис. 1.2), вершины которых означают соответствующие показатели качества активированных бентонитовых порошков, а линии связи между вершинами указывают на взаимосвязь показателей между собой.

В данном случае для оптимизации контроля качества принят порог значимости 0,4, т.е. значения коэффициентов ниже порога значимости указывают на отсутствие линии связи, и в левой части матрицы коэффициентов (см. табл. 1.1) они заменены нулем. Сильные связи обозначены цифрой 1, а слабые — ½.

Данные взаимосвязи показателей качества активированных порошков, представленные графами на рис. 1.2, дают основание для вывода, что изменение состава обменных катионов (*5*—*7*) нахо-

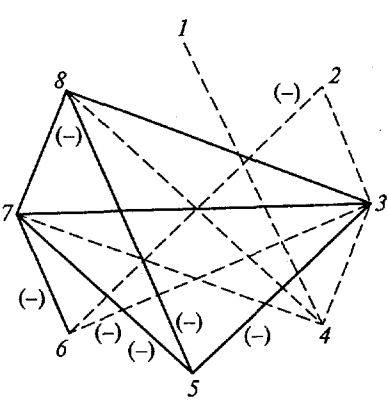


Рис. 1.2. Графы взаимосвязи показателей качества активированных порошков (сплошные линии — сильная прямая или обратная связь; штриховые линии — то же, слабая связь; отсутствие линии — связи нет):

1 — предел прочности при сжатии во влажном состоянии ($\sigma_в$); *2* — предел прочности при разрыве в зоне конденсации влаги ($\sigma_{з.к}$); *3* — водопоглощение; *4* — концентрация водородных ионов (pH); *5* — содержание катионов кальция; *6* — содержание катионов магния; *7* — содержание катионов натрия и калия; *8* — расход активирующего реагента (Na_2CO_3)

дится в функциональной связи с количеством реагента-активатора (*8*) и водопоглощением (*3*), причем в отношении катионов щелочноземельных металлов (*5*, *6*) наблюдается сильная обратная взаимосвязь (–). Наличие слабой прямой взаимосвязи между водопоглощением (*3*) и пределом прочности при разрыве в зоне конденсации влаги (*2*) указывает на возможность контроля качества активированного бентонита по любому из указанных показателей.

Аналогичная функциональная связь предполагает возможность вывода об уровне прочности при сжатии во влажном состоянии (*1*) по концентрации водородных ионов (*4*).

Для определения степени активации и качества активированных бентонитовых порошков обязательному контролю должен подвергаться показатель водопоглощения (*3*), имеющий сильные и слабые прямые и обратные взаимосвязи со всеми исследованными параметрами качества активированного бентонита, кроме предела прочности при сжатии во влажном состоянии. Следует учесть, что показатель водопоглощения (*3*) имеет сильную прямую взаимосвязь с расходом реагента, вводимого в бентонит для активации, что предопределяет строгое соблюдение режимов активации и гарантирует качество активированных бентонитовых порошков.

Для оперативного контроля качества активированных бентонитовых порошков, выпускаемых Дашуковским комбинатом бентонитовых глин (ОАО «Бентонит»), выбран показатель водопоглощения, имеющий максимальное число функциональных связей с другими исследованными параметрами, а также показатель предела прочности при сжатии во влажном состоянии, имеющий слабую прямую взаимосвязь только лишь с показателем концентрации водородных ионов.

Имеются также попытки использования комплексного подхода при рассмотрении отдельных технологических процессов, которые являются этапами общего процесса изготовления отливок (см. рис. 1.1). Например, следует упомянуть, что для решения задачи питания отливок успешно использована теория множеств [3] как один из методов системного анализа, в частности конфигурации отливок.

ГЛАВА 2

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ. ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Как отмечалось, в данном учебнике рассматривается способ литья в объемные формы из дисперсных материалов, чаще всего в песчано-глинистые формы. Поэтому изложение возможностей изготовления отливок, т. е. их технологичность, приводится именно для этого способа.

При обсуждении технологичности во внимание, как правило, принимают следующие параметры: сплав; минимальная толщина стенки; минимальный диаметр литого отверстия; радиусы сопряжения стенок; литейные радиусы; точность отливки по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.); шероховатость поверхности; формовочные уклоны по ГОСТ 3212—80; требования к герметичности отливки и конструкционная технологичность.

Технолог-литейщик при приеме заказа на отливку в конкретном производстве оценивает возможность ее изготовления, т. е. ее технологичность, исходя из условий конкретного производства (из какого сплава будет изготовлена в цехе отливка, на каком оборудовании осуществляется плавка, формовка и т. п., какие возможности у цеха изготовить отливки по массе, габаритам и т. д.).

Каждый из перечисленных параметров далее рассматривается подробно с учетом возможностей способа литья в песчано-глинистые формы.

2.1. СПЛАВ

В песчано-глинистых формах можно, в принципе, изготовлять отливки практически любых размеров и массы из любых сплавов, если они будут удовлетворять заказчика по качественным показателям, перечисленным в списке параметров, начиная с точности отливки.

Исключение составляют прежде всего титановые сплавы, так как они имеют высокую температуру заливки (выше 1700 °С), активно вступают в реакцию с материалом формы (за исключением графита, который и является основным материалом формы для титановых сплавов); их плавку ведут в гарнисаже (затвердевшем слое титанового сплава).

Естественно, что при изготовлении отливок из разных сплавов необходимо учитывать их особенности, например, при изготовлении отливок из магниевых сплавов в формовочную смесь вводят гидроксид бора $B(OH)_3$ (тривиальное название «борная кислота») и серу для предотвращения их окисления и возгорания. С учетом перечисленных выше параметров возможности изготовления отливок из разных сплавов будут неодинаковые, и это должно учитываться.

2.2. МИНИМАЛЬНАЯ ТОЛЩИНА СТЕНКИ

В первую очередь конкретные особенности сплавов учитываются при выборе минимально возможной толщины стенки. Толщина стенки отливки назначается конструктором из соображений прочности и принимается технологом-литейщиком. В результате статистической обработки толщин стенок и масс готовых отливок из чугуна и стали (т. е. результатов совместной работы конструкторов и технологов-литейщиков) установлена зависимость [3]

$$h = am_o^b,$$

где h — толщина стенки отливки, мм; m_o — масса отливки, кг; a, b — коэффициенты, $a = 3{,}5...10$; $b = 0{,}15...0{,}25$.

Пользоваться данной зависимостью при оценке минимальной толщины стенки конкретной отливки нельзя, так как введение значений коэффициентов a и b, которые получены без учета многих факторов, приводит к колебаниям значений толщины стенки более чем в 3 раза.

В курсе «Литейные сплавы и плавка» подробно обсуждался вопрос о жидкотекучести сплава и было рассмотрено влияние прежде всего толщины стенок и их протяженности или площади, а также температуры ликвидуса и интервала кристаллизации (чем выше температура ликвидуса и шире интервал кристаллизации, тем хуже жидкотекучесть). Была приведена «критическая» толщина стенки для песчано-глинистых форм. Для чугунных отливок она составляет 3...5 мм, для отливок из углеродистой стали — 5...8 мм. Название «критическая» означает наименьшую минимальную толщину стенок с учетом «средних» технологических характеристик — температуры заливки, влажности смеси и т. п. Критическая толщина стенки также является некоторой статистической величиной из производственных данных. Использовать эту величину литейщики могут, но с учетом того, что меньшую толщину стенки получить практически нельзя.

Для оценки толщины стенки конкретной отливки можно предложить данные, представленные в табличной форме, учитывающие вид сплава, массу, протяженность стенки отливки и класс

точности ее размеров изготовления (табл. 2.1). Влияние вида сплава и протяженности стенки отливки определяется величиной жидкотекучести. Влияние массы примерно учитывается по уравнению (2.1). По поводу влияния класса точности размеров на минимальную толщину стенки следует привести данные из практики, согласно которым попытки изготовления отливки блока цилиндров автомобильного двигателя из высокопрочного чугуна взамен серого с меньшей, чем 3...5 мм, стенкой окончились неудачей именно из-за невозможности обеспечить точность более тонкой стенки.

Таблица 2.1. **Минимальная толщина стенки отливок при их изготовлении в песчано-глинистых формах**

Сплавы	Масса отливок, кг	Протяженность стенки, мм	Минимальная толщина стенки, мм, с учетом классов точности размеров отливки ($КР_о$)		
			5—7	8—10	11т—16
Алюминиевые и магниевые	До 0,2	До 100	3,0	4,0	5,0
	Свыше 0,2 до 1,5	100...250	4,0	5,0	7,0
	Свыше 1,5 до 5,0	250...630	5,0	6,0	8,0
Оловянные бронзы	До 1,0	До 100	3,5	4,5	5,5
	Свыше 1,0 до 7,0	100...250	4,5	5,5	6,5
	Свыше 7,0 до 30	250...630	5,5	6,5	8,0
Медные	До 0,6	До 100	4,0	5,0	6,0
	Свыше 0,6 до 15	100...250	5,0	6,0	8,0
	Свыше 15 до 60	250...630	6,0	8,0	10,0
СЧ15—СЧ20	До 0,5	До 100	3,0	4,0	5,0
	Свыше 0,5 до 12	100...250	5,0	6,0	8,0
	Свыше 12 до 50	250...630	6,0	8,0	10,0
	Свыше 50 до 300	630...1600	8,0	10,0	12,0
СЧ21—СЧ35 ВЧ35—ВЧ50	До 1,0	До 100	3,5	5,0	6,0
	Свыше 1,0 до 50	100...250	6,0	7,0	9,0
	Свыше 50 до 100	250...630	7,0	9,0	11,0
	Свыше 100 до 500	630...1600	9,0	11,0	13,0
ВЧ60—ВЧ100	До 2,5	До 100	4,0	6,0	7,0
	Свыше 2,5 до 100	100...250	7,0	8,0	10,0
	Свыше 100 до 300	250...630	8,0	10,0	12,0
	Свыше 300 до 1000	630...1600	10,0	12,0	14,0
Легированная сталь	До 12,0	До 100	5,0	5,0	8,0
	Свыше 12,0 до 100	100...250	7,0	9,0	10,0
	Свыше 100 до 500	250...630	9,0	11,0	14,0
	Свыше 500 до 3000	630...1600	12,0	14,0	18,0
Углеродистая сталь	До 40,0	До 100	6,0	7,0	9,0
	Свыше 40,0 до 300	100...250	8,0	10,0	12,0
	Свыше 300 до 1000	250...630	10,0	14,0	16,0
	Свыше 1000 до 3000	630...1600	14,0	16,0	20,0

В табл. 2.1 влияние класса точности размеров на минимальную толщину стенки отражено с учетом того, что допуск на толщину стенки не должен превышать половины номинального значения толщины стенки.

Выше приведены данные о минимальной толщине наружных стенок отливки. Из производственного опыта известно, что толщина внутренних стенок может быть на 10...20 % меньше, чем наружных. Поэтому для уменьшения массы отливки этим следует пользоваться.

2.3. РАДИУСЫ ПЕРЕХОДОВ И СОПРЯЖЕНИЙ СТЕНОК ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Плавность перехода от тонких к толстым сечениям, правильное сопряжение и достаточная величина радиусов обеспечивают получение отливок без литейных дефектов (усадочных раковин, пористости, трещин, ужимин и т.д.). Малый радиус приводит к напряжениям (трещинам), ужиминам в отливках, большой — к увеличению массы отливки, усадочным дефектам в отливках (увеличению теплового узла).

В правильно сконструированной литой детали отношение толщин стенок (h) должно удовлетворять неравенству $h_1/h_2 \leq 2$. В ма-

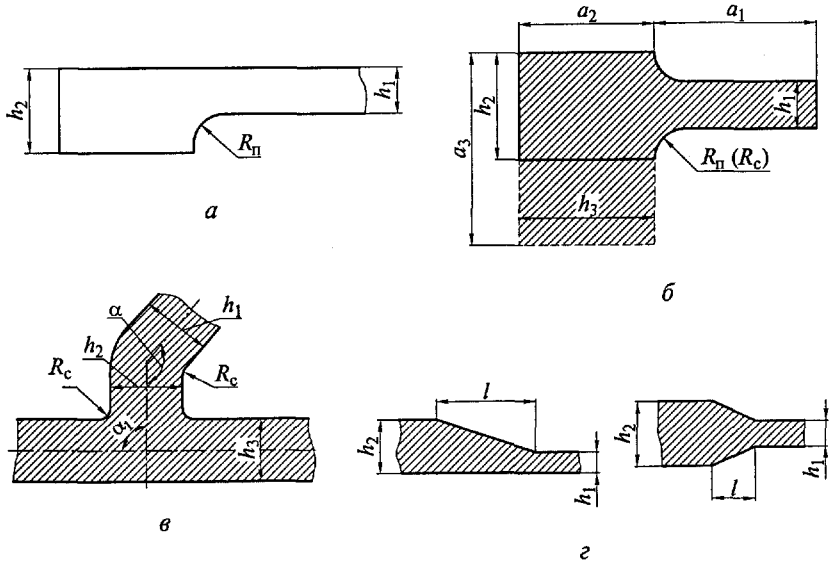


Рис. 2.1. Радиусы $R_п$ односторонних ($а$) и двусторонних ($б$) переходов, радиусы $R_с$ сопряжений ($в$), длина l сопряжений стенок в виде клина ($г$): h_1, h_2, h_3 — толщины стенок; a_1, a_2, a_3 — протяженность стенки; α — угол сопряжения

шиностроительных отливках приведенное отношение может быть больше — $h_1/h_2 \le 4$.

Сопряжения стенок, различающихся по толщине менее чем в 2 раза, выполняются посредством радиуса перехода $R_п$ или радиуса сопряжения $R_с$ (рис. 2.1, *а*, *б*, *в*). Радиус сопряжения $R_с$ можно определить по уравнению

$$R_с = K(h_1 + h_2)/2,$$

где $K = {}^1/_2 ... {}^1/_3$.

Радиус угловых L-образных сопряжений ($R_с$) зависит не только от толщины стенки, но и от угла α между сопрягаемыми стенками (рис. 2.1, *в*), а также от класса дефектности (табл. 2.2). Классы дефектности 1, 2, 3-й характеризуют соответственно низкую, среднюю и высокую склонности отливок к таким дефектам, как усадочные раковины, горячие и холодные трещины, ужимины.

Таблица 2.2. **Радиусы сопряжений $R_с$ стенок отливки**

$(h_1+h_2)/2$, мм	Класс дефектности отливки	Величина $R_с$, мм, в зависимости от угла сопряжения α, °					
		до 50	свыше 50 до 75	свыше 75 до 105	свыше 105 до 135	свыше 135 до 165	свыше 165
До 1,5	1	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0
	2	0,6	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
	3	0,8	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Свыше 1,5 до 3	1	0,6	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
	2	0,8	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
	3	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,2
Свыше 3 до 5	1	2,0	2,5	3,0	3,0	4,0	5,0
	2	2,5	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0
	3	3,0	3,2	5,0	5,0	6,0	8,0
Свыше 5 до 8	1	2,5	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0
	2	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	8,0
	3	4,0	5,0	6,0	6,0	8,0	10,0
Свыше 8 до 10	1	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	8,0
	2	4,0	5,0	6,0	6,0	8,0	10,0
	3	5,0	6,0	8,0	8,0	10,0	12,0
Свыше 10 до 20	1	4,0	5,0	6,0	6,0	8,0	10,0
	2	5,0	6,0	8,0	8,0	10,0	12,0
	3	6,0	8,0	10,0	10,0	12,0	14,0
Свыше 20 до 30	1	5,0	6,0	8,0	8,0	10,0	12,0
	2	6,0	8,0	10,0	10,0	12,0	14,0
	3	8,0	10,0	12,0	12,0	14,0	16,0
Свыше 30 до 40	1	6,0	8,0	10,0	10,0	12,0	14,0
	2	8,0	10,0	12,0	12,0	14,0	16,0
	3	10,0	12,0	14,0	14,0	16,0	18,0

Окончание табл. 2.2

$(h_1 + h_2)/2$, мм	Класс дефектности отливки	Величина R_c, мм, в зависимости от угла сопряжения α, °					
		до 50	свыше 50 до 75	свыше 75 до 105	свыше 105 до 135	свыше 135 до 165	свыше 165
Свыше 40 до 50	1	8,0	10,0	12,0	12,0	14,0	16,0
	2	10,0	12,0	14,0	14,0	16,0	18,0
	3	12,0	14,0	16,0	16,0	18,0	20,0
Свыше 50	1	10,0	12,0	14,0	14,0	16,0	18,0
	2	12,0	14,0	16,0	16,0	18,0	20,0
	3	14,0	16,0	18,0	18,0	20,0	22,0

Следует также различать радиусы сопряжений R_c и радиусы переходов $R_п$.

Из рис. 2.1, *б* видно, что при определении радиуса сопряжения R_c или перехода $R_п$ возможна некоторая неопределенность. Действительно, если радиус определяется для сплошного контура, то принимают во внимание толщины стенок h_1 и h_2, если же учесть показанный на рисунке штрихом контур, то во внимание принимаются толщины стенок h_1 и h_3. Для устранения неопределенности при нахождении $R_п$ и R_c следует учесть протяженность стенок.

На основании практического опыта принято *граничное значение протяженности* $[a_i]$, которое для первой и второй стенок составляет

$$[a]_1 = (h_1/2) + 7;\ [a]_2 = (h_2/2) + 7.$$

Реальную протяженность стенки по чертежу следует сравнить с граничным значением, вычисленным для каждой из стенок по приведенным уравнениям, и выбрать вид радиуса.

Если $a_1 > [a]_1$ и $a_2 > [a]_2$, то определяется R_c; для трех пар неравенств — $a_1 \le [a]_1$ и $a_2 \le [a]_2$, $a_1 \le [a]_1$ и $a_2 \ge [a]_2$, $a_1 \ge [a]_1$ и $a_2 \le [a]_2$ — определяется $R_п$.

Радиусы переходов $R_п$ односторонних (рис. 2.1, *а*) и двусторонних (рис. 2.1, *б*) определяются по табл. 2.3. При прочих равных условиях радиусы сопряжения и переходов для отливок из алюминиевых сплавов в 1,25 раза меньше, а для стальных в 1,25 раза больше, чем для чугунных.

Если отношение толщин сопрягаемых стенок более 2, то переход двух стенок выполняют в виде клина (рис. 2.1, *г*).

Длина клина l рассчитывается по уравнению

$$l = 4(h_1 - h_2).$$

Радиусы сопряжения и переходов назначаются при конструировании литой детали. Однако этот параметр является оценочным с точки зрения технологичности, но его также назначает техно-

Таблица 2.3. **Радиусы переходов $R_п$**

$(h_1 + h_2)/2$, мм	Величина $R_п$, мм, переходов	
	односторонних	двусторонних
До 5	5	3
Свыше 5 до 6	6	5
Свыше 6 до 8	8	6
Свыше 8 до 10	10	6
Свыше 10 до 12	12	8
Свыше 12 до 14	15	8
Свыше 14 до 18	16	8
Свыше 18 до 20	20	8
Свыше 20 до 25	25	10

лог после нанесения припусков на сопрягаемые поверхности и технологических напусков.

2.4. ЛИТЕЙНЫЕ РАДИУСЫ

Литейный радиус предусматривается в углах стенок отливки.

Слишком малый литейный радиус приводит к подрыву формы (стержня), отбелу кромок и появлению холодных трещин в чугунных отливках.

Величина литейного радиуса выбирается в зависимости от толщины стенки отливки. Толщина стенки H определяется из чертежа детали как наименьшая из сторон, формирующих угол отливки (рис. 2.2). Если h_2 меньше h_1, то для определения литейного радиуса R по табл. 2.4 следует принять $H = h_2$.

В реальных отливках на литейный радиус кроме толщины стенки влияют склонность к подрыву и трещинам песчано-глинистых форм и стержней при их выеме и склонность к образованию отбела и холодных трещин в чугунных отливках. Эти факторы оцениваются тремя классами, которые были названы «классами дефектности»: 1, 2 и 3-й классы дефектности отливок характеризуют соответственно низкую, среднюю и высокую склонность отливок к названным дефектам. Технолог на основании своего опыта может выбрать необходимый класс и определить литейный радиус по табл. 2.4.

Если угол детали образуется обрабатываемыми поверхностями (рис. 2.2, *б*), то после нанесения припусков Z_1 и Z_2 литейный радиус в отливке может быть определен из соотношения (рис. 2.2, *б*)

$$R = (Z_1 + Z_2)/2.$$

Если угол образуется обрабатываемой и необрабатываемой поверхностями чугунной детали (рис. 2.2, *в*), то литейный радиус принят равным Z — припуску на обрабатываемую поверхность:

$$R = Z.$$

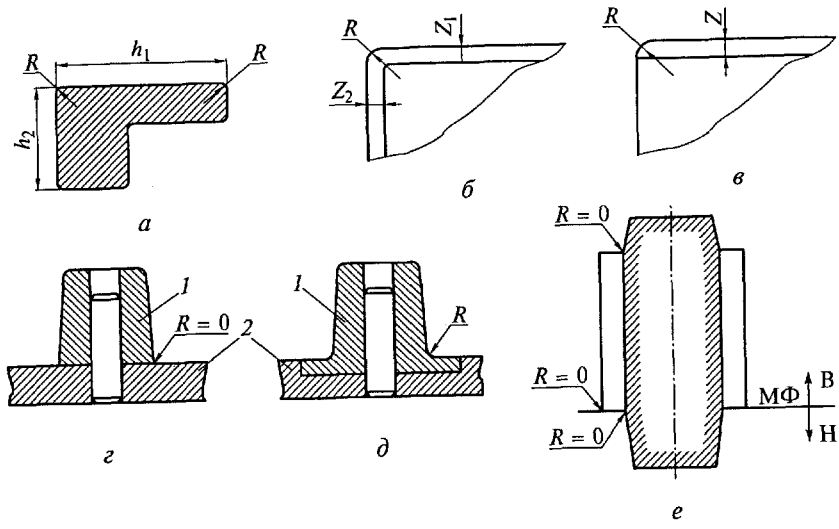


Рис. 2.2. Литейный радиус R на необрабатываемых поверхностях (*а*), на обрабатываемых поверхностях (*б*, *в*), на модельной оснастке (*г*, *д*), на углах, образуемых стержнем и плоскостью разъема (*е*):

1 — элемент литниковой системы; *2* — модельная плита; МФ — разъем модели и формы; В, Н — соответственно верх и низ формы; h_1, h_2 — толщины стенок; Z, Z_1, Z_2 — припуски

Понятие «литейный радиус» применимо не только к отливке, но и к элементам литниковой системы, поскольку его отсутствие ($R = 0$) приводит к подрыву формы в элементах литниковой системы (рис. 2.2, *г*). На рис. 2.2, *д* изображен шлакоуловитель *1* с литейным радиусом и модельная плита *2*. Иногда для предотвращения подрыва используют врезку шлакоуловителей, с тем чтобы обеспечить литейный радиус, который должен составлять 2...3 мм.

Таблица 2.4. **Данные к определению литейного радиуса R**

Толщина стенки H, мм	Литейный радиус R, мм, для классов склонности отливок к дефектам		
	1	2	3
До 5	1	2	3
Свыше 5 до 10	2	3	4
Свыше 10 до 30	2	3	4
Свыше 30 до 40	3	4	5
Свыше 40 до 50	3	4	5
Свыше 50 до 60	4	5	6
Свыше 60	5	6	7

Требования по литейному радиусу указываются на чертеже отливки надписью типа: «*Неуказанные литейные радиусы R 3 мм*».

Литейный радиус ($R = 0$) отсутствует в плоскости разъема и на пересечении формы и стержня (рис. 2.2, *е*), так как в этих местах, как правило, образуются заливы, которые впоследствии зачищаются.

2.5. ФОРМОВОЧНЫЕ (ЛИТЕЙНЫЕ) УКЛОНЫ

Формовочные (литейные) уклоны предусматриваются на моделях, в стержневых ящиках, в металлических формах для обеспечения извлечения соответственно модели из формы, стержня из стержневого ящика и отливки из металлической формы.

В настоящее время при назначении формовочных уклонов используется ГОСТ 3212—92 «Комплекты модельные. Уклоны формовочные. Стержневые знаки. Допуски размеров», согласно которому существуют три типа уклонов (рис. 2.3, *а*, *б*, *в*).

Тип 1 назначается на обрабатываемые поверхности детали ($N_д$ — размер детали) сверх припуска на обработку Z (за счет увеличения размеров и массы отливки) (на рис. 2.3, *а*, показан знаком «+»). Тип 2 назначается на необрабатываемые поверхности отливки, не сопрягаемые по контуру с другими деталями, за счет частичного увеличения (знак «+») и уменьшения (знак «–») размеров отливки ($N_о$) (рис. 2.3, *б*). Тип 3 назначается на необрабатываемые поверхности отливки, сопрягаемые по контуру с другими деталями, за счет уменьшения размеров детали (на рис. 2.3, *в* показано знаком «–») и ее массы.

Величина формовочного уклона зависит от высоты (h_1, h_2, H) формообразующей поверхности (рис. 2.3, *г*): чем меньше высота (например, h_1), тем больше уклон (угол α_1). Для сырой формовки это связано с тем, что поверхностные слои формы более подвержены подрыву, чем глубинные.

Формовочные уклоны α на чертежах задаются тремя способами (см. на рис. 2.3, *д*, *е*, *ж*).

На чертеже отливки в ТУ литейные уклоны указываются обязательной строкой, например, типа: «*Неуказанные литейные уклоны — не более 2°*».

Если в стержневом ящике требуется выполнение уклона на вертикальную стенку отливки, то согласно ГОСТу величина его должна соответствовать уклону модели на эту стенку (угол α на рис. 2.3, *з*) для соблюдения равномерной толщины стенки отливки, и, наоборот, если уклон не требуется, то допускается вариант, показанный на рис. 2.3, *и*.

Правильно выбранные тип и величина уклона обеспечивают наиболее рациональные значения толщины стенки отливки и ее массы. На величину литейного уклона влияют следующие факторы:

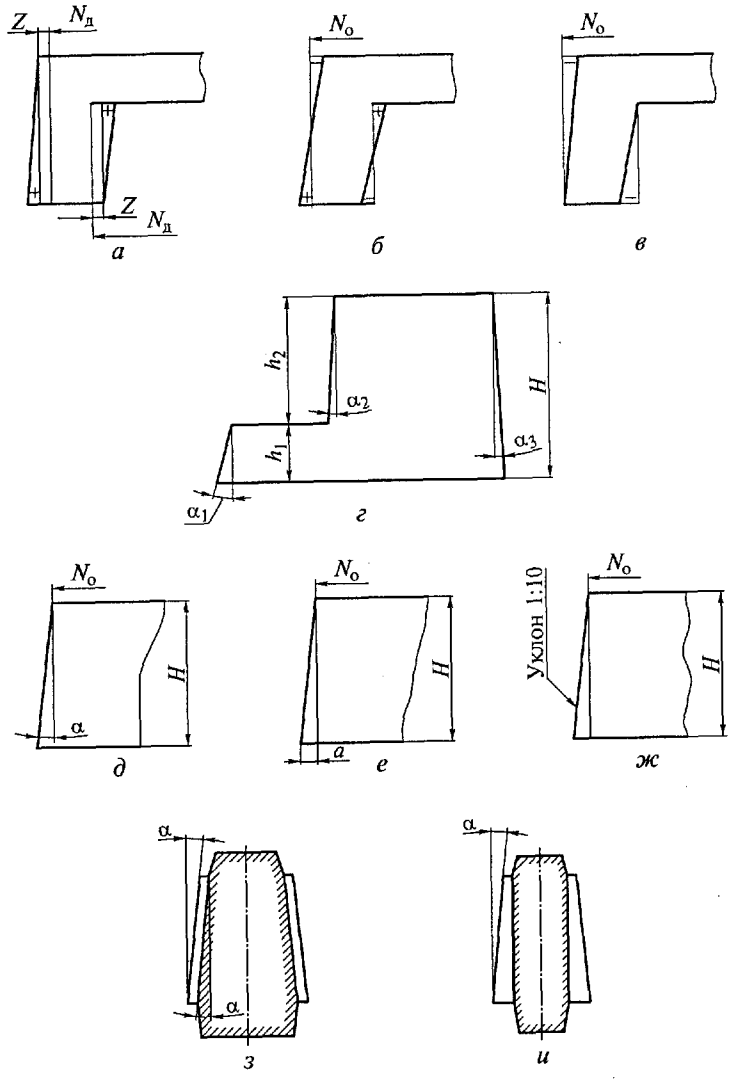


Рис. 2.3. Типы литейных уклонов, их обозначение на чертеже отливки, взаимосвязь литейных уклонов с высотой формообразующего элемента и взаимосвязь литейных уклонов формы и стержня:

а — для обрабатываемых поверхностей; *б* — для необрабатываемых поверхностей, не сопрягаемых с другими поверхностями; *в* — для необрабатываемых поверхностей, но сопрягаемых с другими поверхностями; *г*, *д* — обозначение литейного уклона его углом в градусах; *е* — то же, абсолютная величина размера уклона *а*, мм; *ж* — то же, отношение абсолютной величины размера к высоте формообразующей поверхности; *з* — взаимосвязь литейных уклонов формы и стержня, когда для стержня необходим литейный уклон; *и* — то же, когда у стержня нет литейного уклона

- материал и чистота поверхности модели (стержневого ящика);
- вид поверхности: внутренняя или внешняя;
- наличие антифрикционных смазок;
- технологические свойства формовочных смесей.

В последнее десятилетие появились новые процессы формовки, которые обеспечивают изготовление качественной формы при значительно меньших уклонах (в частности, импульсная формовка сетевого давления). При вакуумной формовке возможно изготовление форм с нулевыми или даже отрицательными уклонами.

При изготовлении отливок в металлических формах также предусматриваются уклоны для обеспечения (облегчения) извлечения отливок, но они не называются формовочными. Стандарты для их назначения в настоящее время не разработаны.

По ГОСТ 3212—92 можно назначать уклоны для моделей при литье по выплавляемым моделям, которые по существу являются отливками. Тем не менее уклоны называются формовочными.

Следовательно, уклоны необходимы на моделях (затем они передаются формам и потом отливкам), в стержневых ящиках (затем они передаются стержням и потом отливкам), в металлических формах и на металлических стержнях (затем они передаются отливкам). Назначение уклонов одинаковое — обеспечить извлечение модели, стержня, отливки. Однако в случае изготовления моделей и стержней уклоны обеспечивают извлечение при формовке, поэтому они называются формовочными. В случае металлических форм уклоны обеспечивают извлечение отливки, поэтому называются просто уклонами, или литейными уклонами[1].

Актуальным является предложение о названии всех уклонов «литейными» и разработке единой методики их определения для всех технологических процессов изготовления форм, стержней и отливок.

Статистическая обработка данных таблицы ГОСТ 3212—92 по методу наименьших квадратов позволила получить уравнение единицы $i_{л.у}$ литейных уклонов, мкм, в зависимости от высоты h формообразующей поверхности:

$$i_{л.у} = 1{,}4616 + 7{,}52 \cdot 10^{-3} h + 11{,}68 \cdot 10^{-6} h^2.$$

С учетом основного ГОСТ 3212—92 с его таблицами, интервалами высот основной формообразующей поверхности было разработано 22 класса литейных (формовочных) уклонов, в которых заложена тенденция в сторону больших значений уклонов. Значения литейных (формовочных) уклонов приведены в табл. 2.5, при

[1] Неточным является иногда используемый для этого случая термин «формовочный уклон».

Таблица 2.5. **Литейные (формовочные) уклоны* модельного комплекта (размеры градусы-минуты/мм не более для каждого из 22 классов)**

Высота формообразующей поверхности, мм	Класс литейного уклона										
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	11-й
До 10	0°07′/0,020	0°09′/0,025	0°10′/0,03	0°14′/0,04	0°17′/0,05	0°21′/0,06	0°28′/0,08	0°34′/0,10	0°42′/0,12	0°55′/0,16	1°09′/0,20
Свыше10 до 18	0°06′/0,025	0°08′/0,030	0°10′/0,04	0°13′/0,05	0°15′/0,06	0°20′/0,08	0°26′/0,10	0°31′/0,12	0°41′/0,16	0°51′/0,20	1°04′/0,25
Свыше 18 до 30	0°04′/0,030	0°06′/0,040	0°07′/0,05	0°09′/0,06	0°12′/0,08	0°15′/0,10	0°22′/0,12	0°24′/0,16	0°30′/0,20	0°37′/0,25	0°44′/0,30
Свыше 30 до 50	0°03′/0,040	0°04′/0,050	0°05′/0,06	0°06′/0,07	0°09′/0,10	0°11′/0,12	0°16′/0,16	0°18′/0,20	0°22′/0,25	0°27′/0,30	0°31′/0,35
Свыше 50 до 80	—	—	—	—	0°07′/0,12	0°09′/0,16	0°11′/0,20	0°14′/0,25	0°16′/0,30	0°22′/0,40	0°24′/0,45
Свыше 80 до 120	—	—	—	—	—	—	—	0°11′/0,30	0°14′/0,40	0°18′/0,50	0°18′/0,50
Свыше 120 до 180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0°14′/0,60
Свыше 180 до 250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 250 до 315	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 315 до 400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 400 до 500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 500 до 630	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 630 до 800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 800 до 1000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 1000 до 1250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 1250 до 1600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 1600 до 2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Окончание табл. 2.5

Высота формообразующей поверхности, мм	Класс литейного уклона										
	12-й	13-й	14-й	15-й	16-й	17-й	18-й	19-й	20-й	21-й	22-й
До 10	1°26′/0,25	1°43′/0,3	2°17′/0,4	2°52′/0,5	3°26′/0,6	4°00′/0,7	4°34′/0,8	5°43′/1,0	6°51′/1,2	9°05′/1,6	11°19′/2,0
Свыше 10 до 18	1°17′/0,30	1°42′/0,4	2°08′/0,5	2°34′/0,6	3°25′/0,8	3°50′/0,9	4°16′/1,0	5°07′/1,2	6°48′/1,6	8°29′/2,0	9°19′/2,2
Свыше 18 до 30	0°52′/0,35	1°14′/0,5	1°29′/0,6	1°58′/0,8	2°28′/1,0	2°57′/1,2	3°27′/1,4	3°56′/1,6	4°55′/2,0	5°24′/2,2	5°54′/2,4
Свыше 30 до 50	0°36′/0,40	0°53′/0,6	1°02′/0,7	1°20′/0,9	1°37′/1,1	1°55′/1,3	1°52′/1,5	2°40′/1,8	3°15′/2,2	3°33′/2,4	3°59′/2,7
Свыше 50 до 80	0°27′/0,50	0°38′/0,7	0°43′/0,8	0°54′/1,0	1°11′/1,3	1°22′/1,5	1°07′/1,7	1°49′/2,0	2°10′/2,4	2°27′/2,7	2°43′/3,0
Свыше 80 до 120	0°21′/0,60	0°28′/0,8	0°32′/0,9	0°39′/1,1	0°49′/1,4	0°56′/1,6	0°47′/1,9	1°17′/2,2	1°35′/2,7	1°45′/3,0	2°06′/3,6
Свыше 120 до 180	0°16′/0,70	0°21′/0,9	0°23′/1,0	0°28′/1,2	0°35′/1,5	0°42′/1,8	0°44′/2,0	0°56′/2,4	1°10′/3,0	1°24′/3,6	1°34′/4,0
Свыше 180 до 250	0°13′/0,80	0°18′/1,1	0°23′/1,4	0°26′/1,6	0°32′/2,0	0°39′/2,4	0°42′/2,7	0°52′/3,2	0°58′/3,6	1°05′/4,0	1°21′/5,0
Свыше 250 до 315	—	0°17′/1,4	0°21′/1,7	0°25′/2,0	0°31′/2,5	0°37′/3,0	0°41′/3,4	0°49′/4,0	0°55′/4,5	1°01′/5,0	1°13′/6,0
Свыше 315 до 400	—	—	0°20′/2,1	0°24′/2,5	0°30′/3,1	0°36′/3,7	0°39′/4,2	0°48′/5,0	0°53′/5,5	0°58′/6,0	1°08′/7,0
Свыше 400 до 500	—	—	—	0°23′/3,0	0°29′/3,8	0°35′/4,5	0°37′/5,1	0°46′/6,0	0°50′/6,5	0°54′/7,0	1°01′/8,0
Свыше 500 до 630	—	—	—	—	0°27′/4,4	0°32′/5,2	0°37′/6,0	0°43′/7,0	0°46′/7,5	0°49′/8,0	1°01′/10,0
Свыше 630 до 800	—	—	—	—	—	0°32′/6,7	0°32′/7,6	0°43′/9,0	0°46′/9,5	0°48′/10,0	0°58′/12,0
Свыше 800 до 1000	—	—	—	—	—	—	—	0°42′/11,0	0°44′/11,5	0°46′/12,0	0°54′/14,0
Свыше 1000 до 1250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0°43′/14,0	0°49′/16,0
Свыше 1250 до 1600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0°39′/16,0	0°49′/20,0
Свыше 1600 до 2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0°34′/20,0	0°46′/24,0
Свыше 2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0°45′/30,0

* В числителе — угловой размер литейного уклона в градусах и минутах, в знаменателе — линейный размер литейного уклона в миллиметрах.

этом 1-й класс является перспективным. Значения уклонов приведены в градусах с точностью до минут и в миллиметрах. Уклоны, приведенные в табл. 1—4 ГОСТ 3212—92, соответствуют 14-му и 15-му классам (табл. 1), 18-му и 19-му классам (табл. 2), 13, 16, 17-му классам (табл. 3), 9-му, 12-му классам (табл. 4).

Различие в уклонах соседних классов определяется множителем 1,25, который определен ранее, при разработке ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.). Было установлено, что любое технологическое воздействие вызывает изменение параметра в 1,25 раза.

Таблица 2.6. **Рекомендуемые данные при выборе классов литейных уклонов**

Технологический процесс*	Литейные формы, формы для моделей, материал оснастки, модели и стержневые ящики для их изготовления	Класс литейного уклона для поверхности	
		наружной	внутренней
1. Вакуумная формовка	Металл Дерево	6 8	7 9
2. Литье под давлением: цинковые сплавы алюминиевые сплавы магниевые сплавы медные сплавы стали	Металл	 7 9 9 10 11	 9 11 11 12 13
3. Литье в кокиль под низким давлением: цинковые сплавы алюминиевые сплавы магниевые сплавы медные сплавы стали	Металл	 8 10 11 12 13	 10 12 13 14 15
4. Пресс-формы для изготовления моделей	Выплавляемые Выжигаемые Газифицируемые	8 9 9	10 11 11
5. Стержни, изготавливаемые: в холодной оснастке в горячей оснастке вне оснастки	 Металл Металл Металл Дерево	 13 14 16 18	 14 15 18 20

* В процессах 6—10 ПГС — песчано-глинистая смесь;
АФЛ — автоматическая формовочная линия;
ХТС — холоднотвердеющая смесь.

Окончание табл. 2.6

Технологический процесс*	Литейные формы, формы для моделей, материал оснастки, модели и стержневые ящики для их изготовления	Класс литейного уклона для поверхности	
		наружной	внутренней
6. Формы из ПГС (АФЛ, опочная)	Металл	16	18
7. Формы из ПГС (АФЛ, безопочная)	Металл	17	19
8. Формы из ПГС (поточно-механизированное производство)	Металл Дерево	17 18	19 20
9. Формы из ПГС (ручная)	Дерево	19	21
10. Формы из ХТС	Металл Дерево	13 15	14 16
11. Формы оболочковые	Металл	13	14

В рекомендательной табл. 2.6 приведены данные по назначению классов литейных уклонов. При этом классы литейных уклонов назначаются по следующим входным параметрам: технологический процесс, вид поверхности (наружная, внутренняя), материал моделей, вид формовки, вид отверждения форм и стержней, заливаемый сплав при литье в металлические формы.

Таблица 2.6 является открытой, т. е. ее структура позволяет вносить новые технологические процессы, а также учитывать совершенствование существующих. При разработке ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) было принято, что под точностью отливки понимается степень приближения ее размеров, формы, расположения, показателей качества поверхности и массы к соответствующим параметрам детали (см. гл. 16). Поэтому однозначно можно утверждать, что одним из показателей степени приближения являются литейные уклоны, а именно класс литейных уклонов, который должен быть указан на чертеже детали или отливки вместе с параметрами точности по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.).

Следует отметить, что надпись на чертеже отливки в технических условиях «*Неуказанные уклоны не более 2*» часто воспринимается однозначно — уклоны 2°. Однако уклоны зависят от высоты формообразующей поверхности (см. подразд. 2.5) и их значения будут разными для поверхностей с разными высотами.

Данные, приведенные в табл. 2.5 и 2.6, *не утверждены в Госстандарте* и могут быть использованы только в качестве рекомендаций.

2.6. МИНИМАЛЬНЫЙ ДИАМЕТР ЛИТОГО ОТВЕРСТИЯ

Возможность получения литого отверстия в отливках связана прежде всего со спекаемостью стержня, а также с возможностями протяжки сырых «болванов». Под минимальным диаметром литого отверстия далее понимается отверстие, которое может быть выполнено с применением стержня.

Возможность изготовления литого обрабатываемого отверстия определяется после назначения припуска на обработку.

Минимальный диаметр литого отверстия определяется, как правило, толщиной стенки отливки и глубиной (высотой) отверстия.

Часто сложности возникают при определении толщины стенки. Предложено все тела, в которых выполняются отверстия, подразделять на два типа. К первому типу относят тела, для которых отношение глубины (высоты) отверстия H к толщине стенки h больше или равно единице (это, например, гильзы, втулки; в этом случае $h = h_1$) (рис. 2.4, *а*); ко второму типу — тела, для которых данное отношение меньше единицы (например, плиты). За толщину стенки для таких тел принимается бóльшая из толщин стенок, окружающих отверстие, т.е. $h = h_1$ (рис. 2.4, *б*). Тела первого типа в реальных отливках усложняются различными ребрами, фланцами и другими элементами, поэтому возможен промежуточный вариант как сочетание вышеотмеченных элементов (рис. 2.4, *в*). Толщина стенки h в этом случае может быть выбрана по уравнению $h = (h_1 + h_2)/3$, при этом учитывается тепловое влияние фланца на стержень.

Для заданных значений толщины h отливки и глубины (высоты) H отверстия минимальный диаметр литого отверстия для чугунных отливок определяется по табл. 2.7, для стальных отливок — по табл. 2.8. В последнем случае (стальные отливки) следует учитывать тип сечения отверстия, вводя поправочный коэффициент,

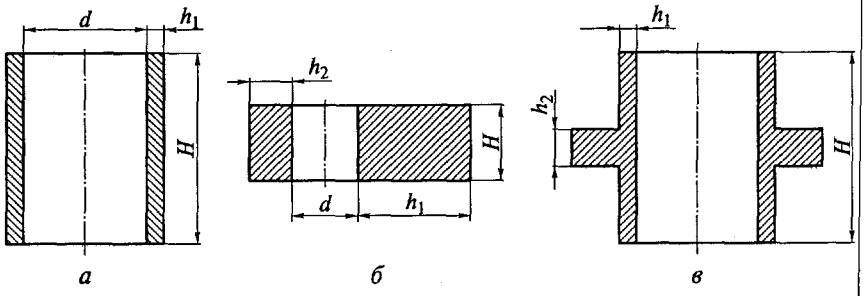


Рис. 2.4. Эскизы тел к определению минимального диаметра литого отверстия в отливке типа:

а — цилиндр; *б* — плита; *в* — цилиндр с фланцем; d — диаметр отверстия; h_1, h_2 — толщины стенок; H — высота (глубина) отверстия

Таблица 2.7. **Минимальный диаметр литого отверстия для чугунных отливок**

Глубина (высота) H отверстия, мм	Минимальный диаметр d, мм, отверстия при толщине стенки отливки h, мм					
	до 10	свыше 10 до 20	свыше 20 до 30	свыше 30 до 40	свыше 40 до 50	свыше 50 до 60
До 10	6	10	12	14	16	18
Свыше 10 до 20	10	12	14	16	18	20
Свыше 20 до 30	12	14	16	18	20	24
Свыше 30 до 40	14	16	18	20	24	28
Свыше 40 до 50	16	18	20	22	28	30
Свыше 50 до 60	18	20	22	28	30	32

Таблица 2.8. **Минимальные литые отверстия в отливках из углеродистых сталей**

Глубина (высота) H отверстия, мм	Минимальный диаметр d, мм, отверстия при толщине стенки отливки h, мм						
	до 40	свыше 40 до 60	свыше 60 до 80	свыше 80 до 100	свыше 100 до 150	свыше 150 до 200	свыше 200 до 300
До 40	24	30	35	40	40	40	40
Свыше 40 до 60	28	35	40	45	50	50	50
Свыше 60 до 80	32	45	50	55	60	65	65
Свыше 80 до 100	35	50	55	60	65	70	75
Свыше 110 до 150	40	55	60	65	70	75	90
Свыше 150 до 200	45	60	65	70	75	80	100
Свыше 200 до 300	50	65	70	75	80	90	110
Свыше 300 до 500	55	70	75	80	95	110	130
Свыше 500 до 800	60	75	80	90	100	120	140
Свыше 800 до 1000	65	80	90	100	110	130	160
Свыше 1000 до 1500	70	90	100	120	140	150	180
Свыше 1500 до 2000	75	95	110	130	150	180	200
Свыше 2000 до 2500	80	100	120	140	160	200	220

Таблица 2.9. **Данные к определению минимальных литых отверстий в отливках из углеродистых сталей**

Характер отверстия	Сечение отверстия	Соотношение сторон	Определяемая величина	Поправочный коэффициент
Сквозное	Квадратное	1:1	Сторона квадрата	1,2
	Прямоугольное	Менее 2:1	Меньшая сторона	1
		Более 2:1	То же	0,7
Закрытое с одной стороны	Круглое	—	Диаметр	1,2
	Квадратное	1:1	Сторона квадрата	1,4
	Прямоугольное	Менее 2:1	Меньшая сторона	1,2
		Более 2:1	То же	0,8
Закрытое прибылью	Круглое	—	Диаметр	1,4

используя данные табл. 2.9. Для отливок из алюминиевых сплавов минимальные отверстия можно определять по табл. 2.7, уменьшая полученные значения в 1,25 раза.

2.7. ОЦЕНКА КОНСТРУКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

Одним из показателей технологичности литой детали является ее конструкционная сложность. При этом технологичным считается изделие, которое является простым и экономичным по таким показателям, как изготовление модельно-стержневой оснастки и изготовление литейной формы, а также по очистным и зачистным операциям.

На рис. 2.5 приведены примеры технологичных (*а'—ж'*) и нетехнологичных (*а—ж*) конструкций литых деталей по отмеченным выше признакам.

На рис. 2.5, *а* литая деталь считается нетехнологичной, поскольку на модели обрабатываемые бобышки *1* имеют разную высоту.

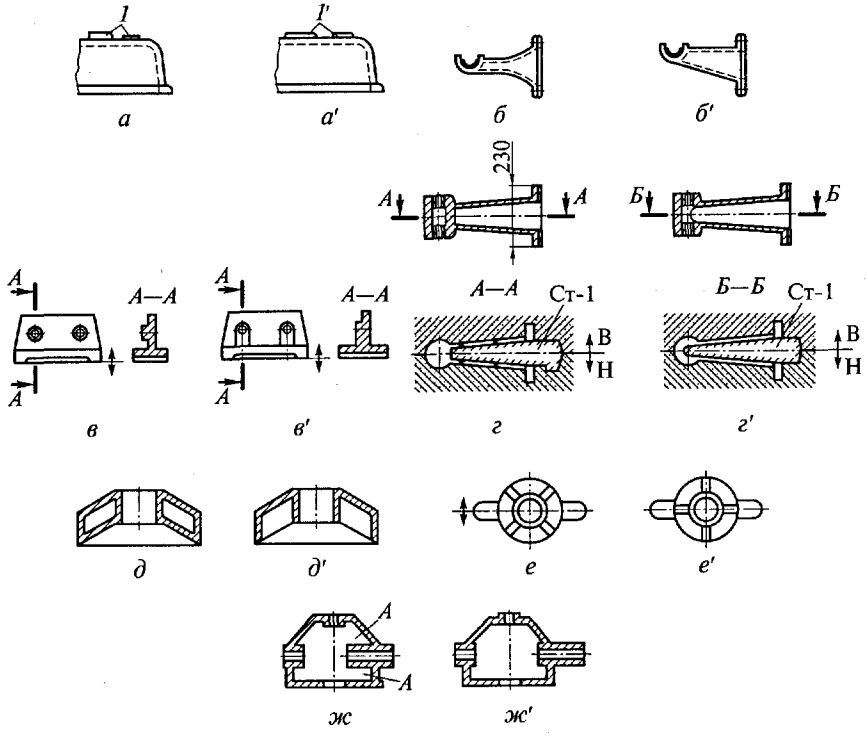


Рис. 2.5. Конструкционная технологичность литых деталей *а'—ж'* в сравнении с нетехнологичными конструкциями этих же деталей *а—ж*

Более технологично их выполнять одинаковыми по высоте *1'*, чтобы при изготовлении модели была возможность их совместной механической обработки за один проход без переналадки станка, так как при этом уменьшается стоимость модели.

Кронштейн, изображенный на рис. 2.5, *б*, выполнен по сложной криволинейной поверхности, т.е. с точки зрения изготовления модели он нетехнологичен опять-таки из-за увеличенной стоимости модели. Плоские поверхности (рис. 2.5, *б'*) позволят резко снизить стоимость изготовления модели.

Выступающие бобышки, расположенные выше плоскости разъема (рис. 2.5, *в*), при изготовлении формы приведут к вынужденному использованию либо отъемных частей, либо стержней. В первом случае это понизит геометрическую и размерную точность отливок, а во втором приведет к их удорожанию. Поэтому предпочтительнее конструкцию следует сделать такой, как показано на рис. 2.5, *в'*.

Следует избегать конструкций с консольными стержнями (с одним знаком) (рис. 2.5, *г*).

Необходимо предусматривать в корпусных конструкциях (рис. 2.5, *д*) открытые полости для простоты и экономичности изготовления литейной формы (рис. 2.5, *д'*).

При выполнении внутренних поверхностей отливки следует устранять многоступенчатость, так как из-за усадки отливки в ней могут возникнуть горячие или холодные трещины.

В случае увеличения жесткости конструкции за счет ребер (рис. 2.5, *е*), их следует располагать во взаимно-перпендикулярном направлении относительно плоскости разъема (рис. 2.5, *е'*).

В конструкции, изображенной на рис. 2.5, *ж*, на внутренних поверхностях отливки следует учитывать высокую вероятность образования пригара из-за значительного прогрева стержня в полостях, обозначенных буквой *А*, что приведет к большим затратам на очистных операциях.

2.7.1. Анализ технологичности с учетом возможных способов формообразования отливок

Изготовлению отливки предшествуют проектирование технологии литейной формы, конструирование и изготовление модельной оснастки. На стадии проектирования технологии разрабатываются возможные варианты способов формообразования при разных положениях отливки в форме. На основе анализа возможных вариантов выбирают способ формообразования, обеспечивающий получение отливки прежде всего в соответствии с ГОСТом или ТУ при наименьшей стоимости затрат.

Варианты могут оцениваться по многим показателям, в их числе следующие: 1) степень приближения заготовки к обрабо-

танной детали; 2) затраты материалов, энергии и труда на изготовление модельной оснастки, форм, стержней и сборки (возможность замены стержней болванами, возможность размещения бóльшего числа моделей в опоке данного размера и т.д.); 3) наиболее благоприятные у́словия получения плотной отливки (без рыхлостей, трещин); 4) меньшая опасность нарушения «сплошности» металла в виде газовых раковин, неметаллических включений; 5) меньшая трудоемкость очистных работ (удаление литников, прибылей, напусков, механического пригара, заусенцев, заливов).

Показатели 1 и 2 (и отчасти 4 и 5) имеют прямое отношение к задаче формообразования отливки, которая сводится в основном к решению «пространственной» или «геометрической» задачи, обусловленной особенностями конфигурации отливки. Показатель 3 оценивает успешное решение задачи формирования отливки и требует учета процессов кристаллизации, охлаждения и усадки металла.

Для отливок из серого чугуна (особенно эвтектического или околоэвтектического состава и при наличии жесткой формы) первые два показателя являются определяющими. Для сплавов, образующих твердые растворы и характеризующихся относительно большим изменением объема при затвердевании (сталь, белый чугун, высокопрочный чугун, цветные сплавы и др.), решающим является показатель 3, даже если при этом придется получать отливку в положении, усложняющем и ее формовку, и ее механическую обработку.

Одновременное рассмотрение вопросов формообразования и формирования отливки во всей их сложности не представляется возможным из-за многообразия отливок.

В качестве первого шага ниже рассматриваются только методы формообразования. Приведенные при этом схемы охватывают основные способы получения форм для отливок разной конфигурации. Изучение схем должно способствовать развитию пространственного воображения и способности к геометрическому анализу у начинающего технолога, с тем чтобы применение методики предварительной разработки всех возможных технологических вариантов формообразования (при различных положениях отливки в форме — о чем было сказано ранее) стало обязательным условием при выборе оптимального технико-экономического решения.

Введем термин «тело» для обозначения понятий «отливка» или «модель». Тогда все реальные тела в зависимости от их геометрии по определенным признакам можно разбить на пять групп сложности [41]. Каждую группу будет характеризовать свое стилизованное тело-представитель (рис. 2.6, *а*—*д*).

Первая группа (рис. 2.6, *а*): тела без поднутрений и выступов; проекции сечений, перпендикулярные направлению выема

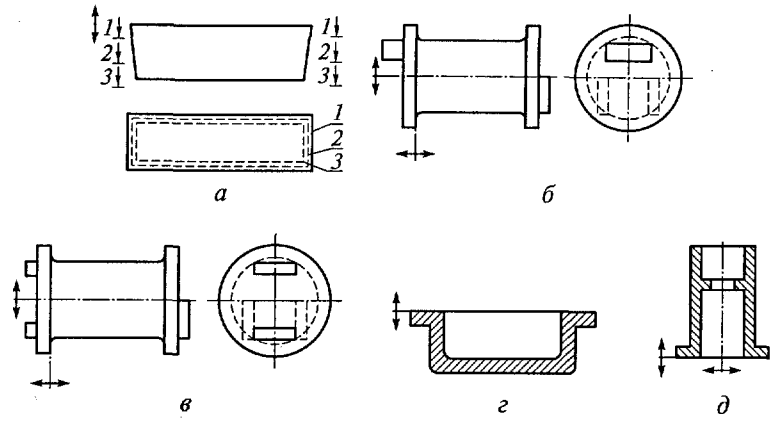


Рис. 2.6. Группы сложности тел в зависимости от их геометрии (*а*—*д*): *1, 2, 3* — проекции условных сечений; ↔ и ↕ — линии разъема отливки

модели, по мере удаления (*1—1, 2—2, 3—3*) от плоскости разъема формы сверху вниз непрерывно уменьшаются и вписываются одно в другое. Форма может состоять из одной или двух частей.

Вторая группа (рис. 2.6, *б*): тела без поднутрений с одним внешним выступом относительно плоскости разъема формы, расположенным так, что признак первой группы нарушается скачкообразно или монотонно один раз; возможно формообразование при помощи болвана (подрезки), без отъемных частей и внешних стержней. Форма состоит из двух частей.

Третья группа (рис. 2.6, *в*): тела с выступом над выступом или поднутрением, представляющие собой сочетание в любой комбинации нескольких тел первой и второй групп. Их формообразование при помощи болвана невозможно — требуются стержни, отъемные части, газифицированные вставки или форма должна состоять из трех частей.

Четвертая группа (рис. 2.6, *г*): тела с одной внутренней полостью, которая отвечает признаку первой группы. Формообразование может выполняться болваном или стержнем. Форма состоит из двух частей или при наличии грибовидного знака стержня из одной части.

Пятая группа (рис. 2.6, *д*): тела с двумя полостями, разделенными перегородкой, полости отвечают признакам второй или третьей групп. Формообразование может выполняться болванами, стержнями или одновременно теми и другими. Форма состоит из двух или более частей.

Тела первой группы. Все поверхности обрабатываются, и, следовательно, задача формообразования упрощается, поскольку литейные уклоны будут удалены при механической обработке. Для

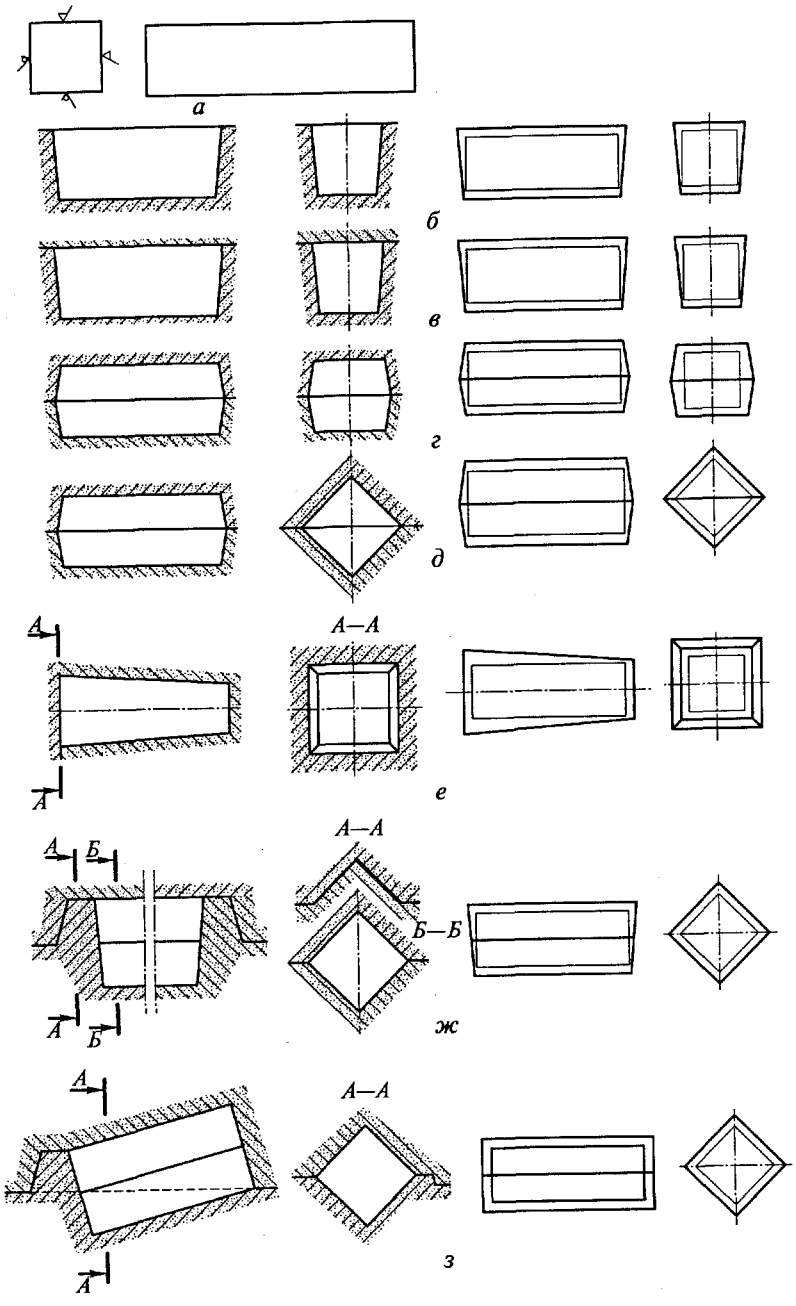


Рис. 2.7. Тело первой группы сложности (*а*) и варианты его формообразования (*б—з*)

этих тел при оценке рациональности варианта важную роль играет точность отливки, в частности, величина припуска на обработку (рис. 2.7, *а* — $\sqrt{}$ — необрабатываемая поверхность; $\sqrt{}$ — обрабатываемая поверхность). На рис. 2.7, *б — з* изображены схемы форм в разрезе и отливок, на поперечном разрезе которых тонкой линией нанесены припуски на механическую обработку. Рассмотрим конкретные варианты формообразования.

Открытая форма; полость, образующая тело, расположена в нижней полуформе; формовочный уклон односторонний; периметр продольного и поперечного сечений — трапеция (рис. 2.7, *б*). К преимуществам можно отнести простоту формовки и минимальную массу литниковой системы. К недостаткам следует отнести быстрое окисление и захолаживание открытой поверхности металла; всплытие шлака на верхнюю поверхность; формирование на верхней поверхности утяжины, что приводит к существенному увеличению припуска на верхнюю поверхность тела. Область применения: единичное производство для неответственных отливок.

Формовка в двух полуформах; тело находится в нижней полуформе; литейный уклон односторонний; периметр продольного и поперечного сечений — трапеция (рис. 2.7, *в*). Заливка осуществляется с напором, припуск на нижнюю и верхнюю поверхности одинаков. Для торцевых поверхностей требуются односторонние литейные уклоны.

Формовка в двух полуформах; тело расположено в верхней и нижней полуформах; периметр продольного и поперечного сечений — шестиугольник (рис. 2.7, *г*). Вариант используется, когда тело не может быть расположено в одной полуформе (по высоте опоки). В этом случае при расчете припусков следует принять во внимание смещение элементов тела. Для торцевых и боковых поверхностей требуются двусторонние литейные уклоны. Припуск на боковые поверхности будет больше, чем в варианте на рис. 2.7, *в*.

Тело расположено в форме таким образом, что в сечении получается квадрат постоянного сечения (рис. 2.7, *д*). В этом случае у боковых поверхностей литейные уклоны получаются естественным образом, двусторонние литейные уклоны необходимы только на торцевые поверхности. Припуск на боковые поверхности меньше, чем в варианте на рис. 2.7, *г*.

Тело формируется в двух полуформах, но расположено вертикально в нижней полуформе; поперечный периметр — квадрат переменного сечения (рис. 2.7, *е*). Припуск на боковые поверхности в этом случае возрастет (необходимо учесть, что при $\mathrm{tg}1^\circ = 0{,}0175$ и при высоте формообразующей поверхности, равной 100 мм, абсолютное значение уклона составит 1,75 мм, а на 200 мм — 3,5 мм).

Формовка в двух полуформах; тело находится в обеих полуформах; поперечный периметр — квадрат постоянного сечения, но в отличие от варианта на рис. 2.7, *д* торцы имеют односторон-

ний уклон (рис. 2.7, *ж*). В этом случае используется торцевая подрезка. Следует отметить, что использование подрезки в парных опоках по металлическим моделям приводит к удорожанию технологии, однако при крупносерийном и массовом производстве отливок это окупается.

Формовка в двух полуформах; тело находится в обеих полуформах под наклоном; формовочный уклон отсутствует; поперечный периметр — квадрат постоянного сечения; периметр продольного сечения — прямоугольник (рис. 2.7, *з*). С точки зрения припусков на механическую обработку вариант наиболее целесообразен. В варианте использованы боковая и торцевая подрезки.

Усложним задачу, представив тело первой группы (рис. 2.8, *а*), у которого обрабатываются торцевые и две продольные поверхности. Две оставшиеся поверхности должны быть выполнены в процессе литья, причем угол между этими поверхностями должен быть равен 90°.

Для получения прямого угла между необрабатываемыми поверхностями применена модель с отъемной частью (рис. 2.8, *б*). Припуск на механическую обработку по длине тела равномерный.

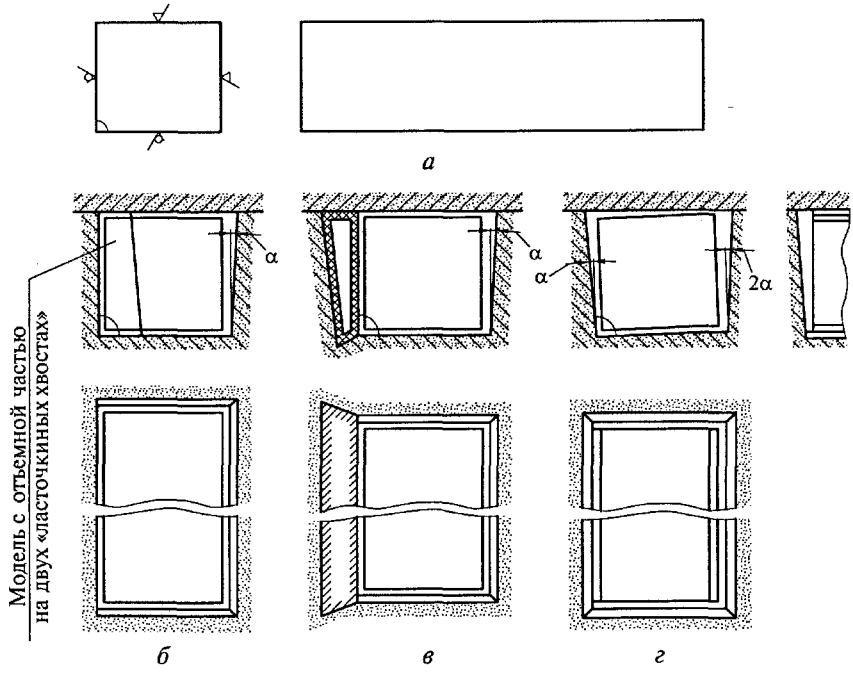


Рис. 2.8. Тело первой группы сложности (*а*) и варианты его формообразования (*б*—*г*)

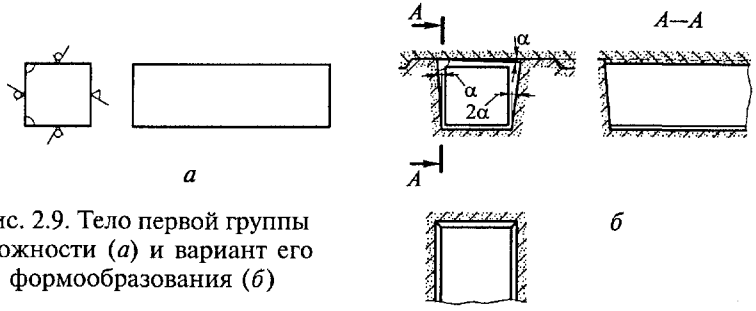


Рис. 2.9. Тело первой группы сложности (*а*) и вариант его формообразования (*б*)

Для получения прямого угла между необрабатываемыми поверхностями используется стержень (рис. 2.8, *в*).

Для получения прямого угла между необрабатываемыми поверхностями без отъемных частей и стержня необходимо левую грань модели повернуть на угол α, а правая грань при этом будет иметь уклон 2α (рис. 2.8, *г*). Припуск на двух обрабатываемых поверхностях будет неравномерный.

Представим тело первой группы, у которого обрабатывается только одна продольная поверхность, остальные получаются в процессе литья (рис. 2.9, *а*). Между необрабатываемыми поверхностями оба угла должны быть прямые.

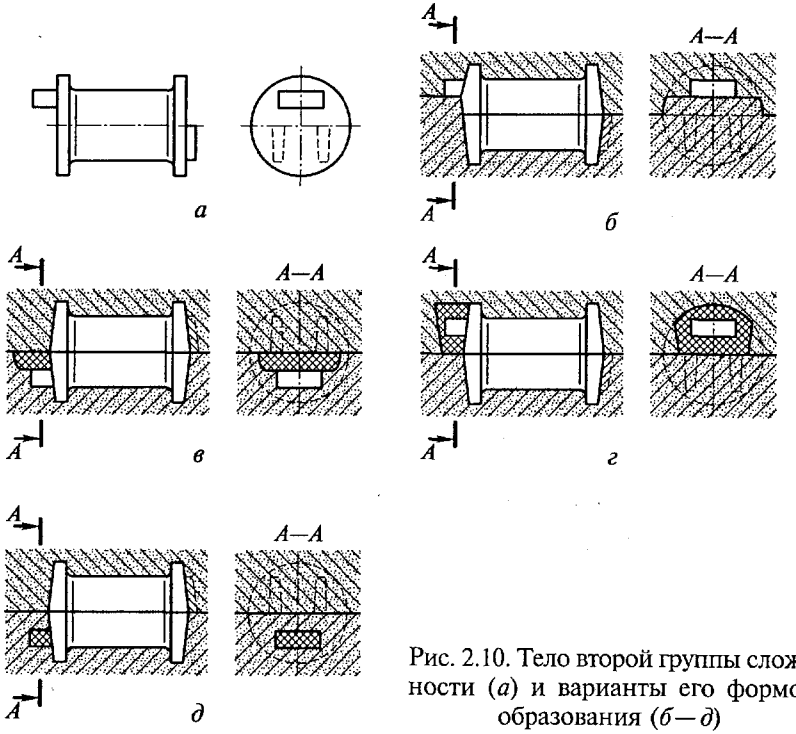


Рис. 2.10. Тело второй группы сложности (*а*) и варианты его формообразования (*б*—*д*)

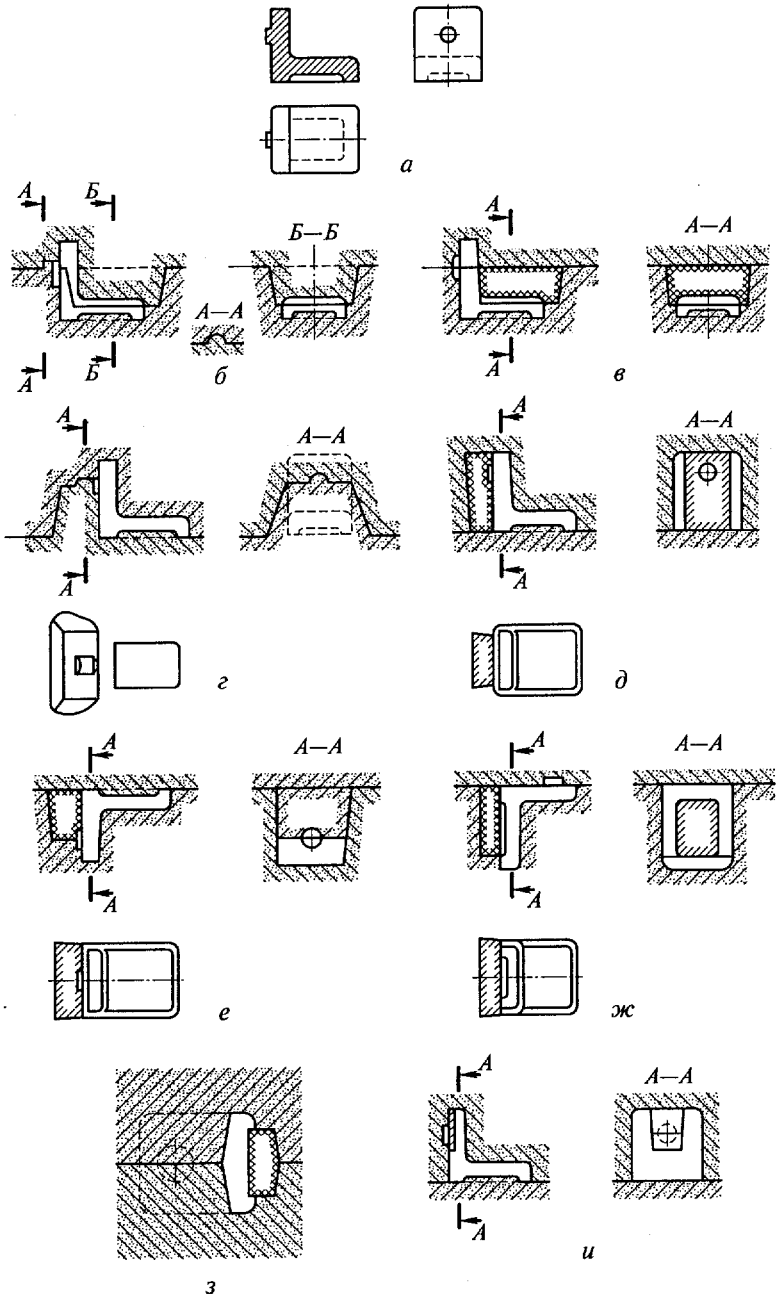


Рис. 2.11. Тело второй группы сложности (*а*) и варианты его формообразования (*б*—*и*) (↕ — линия разъема отливки и формы)

Чтобы заформовать модель с двумя прямыми углами между литыми гранями без отъемных частей и стержня (рис. 2.9, *б*), нужно в дополнение к приему, показанному на рис. 2.8, *г*, поместить модель на плоскость, наклонную к основной плоскости разъема формы под углом α. При этом необходима подрезка.

Тела второй группы. На рис. 2.10, *а* представлено тело второй группы. Рассмотрим варианты его формообразования.

Левый выступ на торце фланца образуется при помощи подрезки (рис. 2.10, *б*). Попутно нужно уяснить разницу между токарным и фрезерным формовочными уклонами на фланцах.

Выступ на фланце образуется при помощи стержня, который устанавливается в нижней полуформе (рис. 2.10, *в*).

Выступ расположен в верхней полуформе (рис. 2.10, *г*). В этом случае вместо того, чтобы делать знак в нижней полуформе или крепить стержень в верхней полуформе шпильками, нужно выполнить стержень с обратным уклоном, для чего его необходимо установить в модель и заформовать.

На рис. 2.10, *д* показан выступ, образованный при помощи газифицируемой вставки.

На рис. 2.11, *а* также приведено тело второй группы с целью показать пять возможных вариантов положения тела относительно плоскости разъема формы (рис. 2.11, *б*—*и*) в процессе формообразования отливки. При этом формообразование бобышки и поднутренней полости тела выполняется по-разному.

По вариантам рис. 2.11 *б*, *г* для формообразования бобышки возможно применение подрезки.

Рекомендуется обратить внимание на линию разъема, оформляющую торец бобышки (сечение *А*—*А*) таким образом, чтобы он получился плоским. При этом устраняется необходимость абразивной зачистки шва, получающегося в случае прохождения линии разъема по центру бобышки (рис. 2.11, *в*). Этот прием следует применять для цилиндрических тел, располагаемых в форме горизонтально. Поднутренний торец для вариантов на рис. 2.11, *б*—*д*, *и* формируется болваном.

Для формообразования бобышки по вариантам на рис. 2.11, *д*, *е* необходим стержень, в том числе в варианте *д* стержень помещается в верхней полуформе по способу, показанному на рис. 2.10, *г*, а в варианте *е* стержень проставляется в нижнюю полуформу, что предпочтительнее. Также необходим стержень для формообразования торца с поднутрением в вариантах на рис. 2.11, *ж*, *з*.

По варианту на рис. 2.11, *и* бобышка образуется при помощи отъемной части на модели.

Тела третьей группы. На рис. 2.12, *а* представлено тело третьей группы сложности, а на рис. 2.12, *б*—*г* — варианты его формообразования. По варианту на рис. 2.12, *б* из-за наличия двух выступов на обоих фланцах формообразование при помощи болвана невоз-

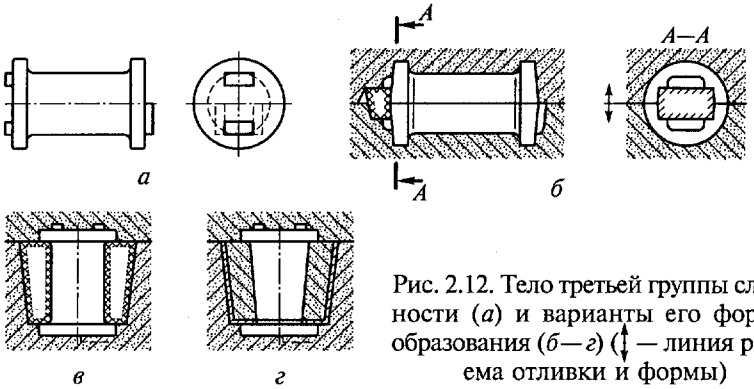


Рис. 2.12. Тело третьей группы сложности (*а*) и варианты его формообразования (*б*—*г*) (↕ — линия разъема отливки и формы)

можно, и необходим стержень. При вертикальном положении тела пространство между двумя фланцами образуется при помощи стержня (рис. 2.12, *в*) или сырого подъемного болвана (рис. 2.12, *г*).

В случае изготовления тела третьей группы сложности (рис. 2.13, *а*) форма может состоять из трех частей (рис. 2.13, *б*). Линия ×—×—×— обозначает отъемную часть модели; наличие подрезки вызвано подбором средней опоки по высоте модели. На рис. 2.13, *в* показано формообразование фланца при помощи стержневой лепешки: форма набивается до уровня *ММ*, отъемная часть модели вынимается, полость перекрывается лепешкой, затем засыпается и уплотняется остальная часть смеси.

При наличии прибыли отъемная часть модели удаляется вместе с ней через контрлад (см. рис. 2.13, *г*).

При вынужденном положении фланца в верхней полуформе и отсутствии прибыли фланец перекрывается стержневой лепеш-

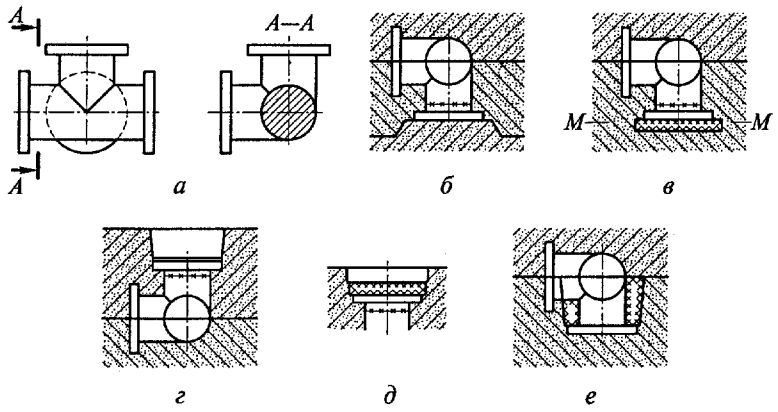
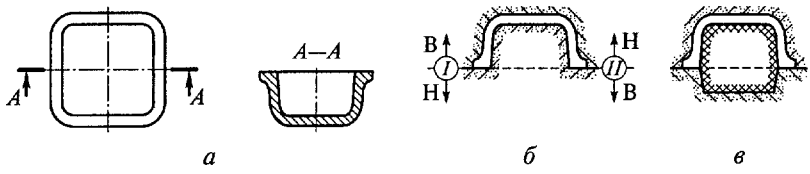


Рис. 2.13. Тело третьей группы сложности (*а*) и варианты его формообразования (*б*—*е*):

ММ — уровень набивки



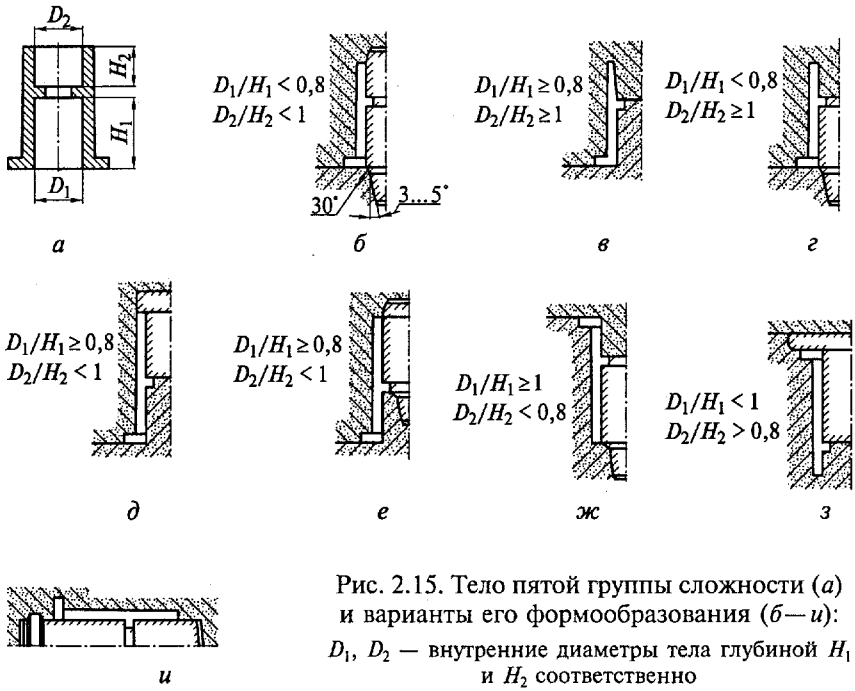
а *б* *в* *г* *д*

Рис. 2.14. Тело четвертой группы сложности (*а*) и варианты его формообразования (*б*—*д*) (В, Н — верх и низ формы в случаях *I* и *II*)

кой (рис. 2.13, *д*) по варианту рис. 2.13, *в*. Существует метод образования верхнего фланца путем раскатки формы при помощи специального приспособления.

Формообразование без отъемной части модели при помощи стержня показано на рис. 2.13, *е*.

Тела четвертой группы. На рис. 2.14, *а* показано тело четвертой группы. Формообразование полости ведется при помощи болвана (рис. 2.14, *б*). В зависимости от соотношения высоты к его толщине тело может быть расположено в верхней (*I*) или нижней (*II*) полуформах (В — верх, Н — низ тела). По варианту на рис. 2.14, *в*



а *б* *в* *г* *д* *е* *ж* *з*

и

Рис. 2.15. Тело пятой группы сложности (*а*) и варианты его формообразования (*б*—*и*):

D_1, D_2 — внутренние диаметры тела глубиной H_1 и H_2 соответственно

полость образуется стержнем. Грибовидный знак стержня, показанный на рис. 2.14, *г*, позволяет получить тело полностью в одной полуформе. Для облегчения усадки отливки и предотвращения трещин в ряде случаев (рис. 2.14, *д*) необходимо образовывать полость сырым болваном, при этом, если форма изготавливается вручную и прочность деревянной «чистой» модели недостаточна, то следует применять наружный стержень.

Тела пятой группы. На рис. 2.15, *а* показано тело данной, пятой, группы. При вертикальном положении тела полость может выполняться стержнем или болваном в зависимости от отношений диаметров к высоте D_1/H_1 и D_2/H_2 (рис. 2.15, *б*—*з*). Обращается внимание на конструкцию стержневого знака, состоящего из двух усеченных конусов (см. рис. 2.15, *б*, *г*, *е*, *ж*): верхний — определяет положение стержня вдоль вертикальной оси тела, нижний — обеспечивает соосность стержня с телом. Чтобы положение стержня по высоте было точным, его знак опирается на боковую поверхность верхнего конуса с углом 30°, а по торцу знака с формой имеется зазор. Для обеспечения строго вертикального поло-

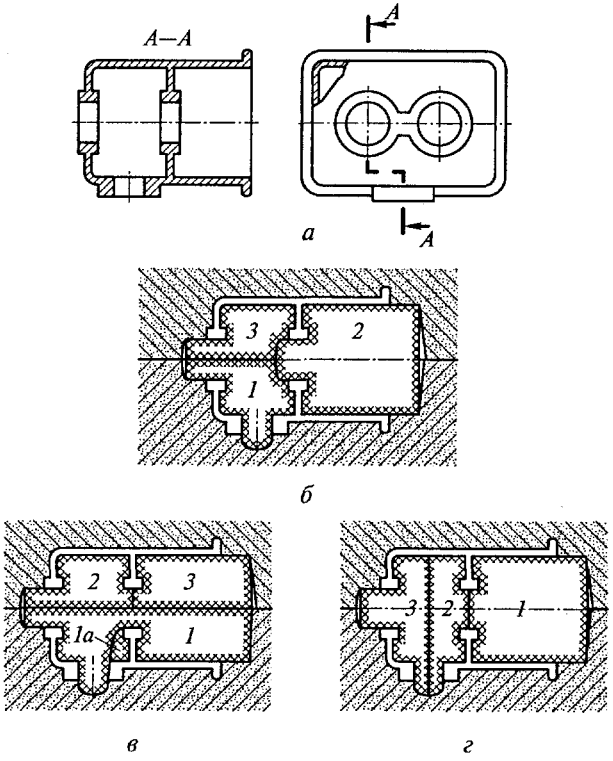


Рис. 2.16. Варианты формообразования тела пятой группы сложности:
1, *2*, *3* — простые стержни; *1а* — вклеиваемый стержень

жения стержня его знак выполняют с обратным конусом, стержень вставляют в полую модель и заформовывают (рис. 2.15, *д*).

В случаях, приведенных на рис. 2.15, *б—ж*, тело образуется элементами, расположенными в двух полуформах, а на рис. 2.15, *з* показано тело, находящееся в одной полуформе.

При горизонтальном положении тела (рис. 2.15, *и*) полость выполняется стержнем, его положение вдоль оси определяется фиксатором на знаке.

На рис. 2.16, *а* приведено тело также пятой группы сложности. Полость формируется стержнем, который является сложным в изготовлении, поэтому его следует разбить на простые части (простые стержни). Для этого необходимо определить границы и разъем стержней. Варианты разбивки сложного стержня на простые (*1—3*) представлены на рис. 2.16, *б—г* (*1а* — стержень, вклеиваемый в стержень *1*).

При разбивке сложного стержня на простые необходимо стремиться к тому, чтобы: 1) число стержней было минимальным; 2) разбивка обеспечивала точность изготовления стержней, желательно без отъемных частей в стержневом ящике; 3) разбивка обеспечивала удобство установки и надежное крепление стержня в форме.

2.8. ТОЧНОСТЬ ОТЛИВКИ

В соответствии с ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) точность отливки определяется следующими пятью показателями: классом точности размеров, степенью коробления (пространственными отклонениями), степенью точности поверхности, классом точности массы и смещением по плоскости разъема.

При приеме заказа на изготовление отливки технолог должен оценить возможности цеха для обеспечения указанной на чертеже точности отливки.

В рекомендуемых таблицах ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) приведены широкие пределы показателей точности. Каждый технолог, зная возможности конкретного производства, однозначно определяет точностные показатели, по крайней мере два из них: класс точности размеров и класс точности массы.

Для песчано-глинистых форм можно указать следующие интервалы точности размеров ($КР_о$) и величины допуска смещения $T_{см}$, например, для отливок из серого чугуна: для ручной формовки $КР_о 11—15$; $T_{см} = 4{,}0$ мм; для поточно-механизированной формовки $КР_о 9—13$т; $T_{см} = 2{,}0$ мм; для автоматизированной формовки $КР_о 7—10$; $T_{см} = 1{,}0$ мм.

Меньшие значения классов точности размеров, как правило, труднодостижимы, поэтому для отечественного литейного про-

изводства реально изготовление, например, отливок средней сложности из серого чугуна с точностью $КР_0 9_т$ (АФЛ типа «DISA», АФЛ типа «SPO»).

2.9. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК

В технических условиях на отливки из промышленных сплавов обычно указываются значения шероховатости поверхности отливок. Так, например, для отливок из серого чугуна в ГОСТ 1412—79 указывается, что шероховатость поверхности отливки после очистки в галтовочных барабанах не должна превышать $Rz = 250$ мкм, а шероховатость отливок, изготовленных на обычных формовочных машинах, до очистки равна не более $Rz = 500$ мкм.

Зная возможности производства отливок по шероховатости и сравнивая их с заданной шероховатостью на чертеже отливки, технолог определяет, например, что заданная шероховатость может быть обеспечена. В некоторых случаях для достижения требуемого качества поверхности форму окрашивают и высушивают. Требования по шероховатости поверхности отливок оговариваются в нормативной документации на отливки.

2.10. ГЕРМЕТИЧНОСТЬ ОТЛИВОК

Большинство машиностроительных отливок из чугуна не проверяют на герметичность, но при отработке технологии отливку разрезают, особенно по местам скопления металла (т.е. по тепловым местам). В последующем контроль герметичности не проводится.

К стальным отливкам и отливкам из цветных сплавов и некоторым отливкам из чугунов (радиаторы, блоки, гильзы цилиндров) часто предъявляют повышенные требования по герметичности и недопустимости раковин и пористости в них. При этом в производстве необходима организация испытаний водой или воздухом на герметичность (см. подразд. 17.5), а при более жестких требованиях контроль должен выполняться на рентгеновских установках для просвечивания отливок и определения балла по пористости. На производстве должны обеспечиваться плавка и заливка в форму в вакууме или заливка в автоклаве для предотвращения образования газовой пористости. Необходимо обеспечение направленного затвердевания и создания давления для питания отливки с целью предотвращения образования усадочных дефектов. Отливки из серого чугуна, работающие при высоком давлении (более 1 МПа), должны проверяться также на графитную пористость, которая может развиваться в структуре чугуна между пластинками графита и металлической матрицей.

ГЛАВА 3

ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СМЕСИ И ЛИТЕЙНЫЕ ФОРМЫ

Материалы, которые используются для изготовления литейных форм, называют формовочными. К основным формовочным материалам относят формовочные пески (огнеупорная составляющая), связующие и специальные добавки. При их смешивании по заданной технологии получаются формовочные и стержневые смеси. Иногда их объединяют общим названием «формовочные смеси».

3.1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ФОРМОВОЧНЫМ СМЕСЯМ И ФОРМАМ

Формовочные смеси и формы испытывают совместные механическое, тепловое и химическое воздействия заливаемого сплава, и к ним предъявляются требования по многим критериям, рассмотренным далее.

Огнеупорность — способность формовочных смесей выдерживать высокие температуры, сохраняя целостность формы.

При выборе формовочных смесей учитывают температуру заливки сплава. Это особенно важно при изготовлении крупных толстостенных отливок, для которых время воздействия жидкого металла на форму возрастает. Температура поверхности формы при этом достигает температуры заливки металла, что может привести к оплавлению, спеканию формовочной смеси. Температуры плавления некоторых сплавов и огнеупорность формовочных смесей для них приведены в табл. 3.1.

Прочность — способность форм (стержней) противостоять внешнему воздействию, без разрушения и без изменения геометрических параметров. Требования к прочности смесей меняются в процессе изготовления отливки. Прочность должна быть достаточной, чтобы обеспечить целостность формы при протяжке, перемещении ее на конвейере, где возможны соударения, а также при заливке, чтобы противостоять статическому и динамическому давлению и тепловому воздействию жидкого металла.

Значения прочности формовочных смесей при сжатии для сырых форм находятся в пределах $\sigma_{сж} = 0{,}05 \ldots 0{,}2$ Н/мм^2, в том числе для ручной формовки — до 0,05 Н/мм^2, для машинной — от 0,05

Таблица 3.1. **Огнеупорность формовочных материалов с учетом температуры плавления заливаемых сплавов**

Сплав, марка	Температура плавления сплава, °С	Огнеупорность, °С
Сталь, 35Л	1500	1700
Чугун, СЧ20	1170	1500
Бронза	1080	1200
Алюминиевый	600	800...1000

до 0,1 Н/мм^2 и для автоматизированных формовочных линий — от 0,1 до 0,2 Н/мм^2.

Для изготовления крупных отливок характерно существенное повышение металлостатического давления и теплового воздействия на форму, поэтому для исключения подутия отливок необходима либо поверхностная сушка формы (подсушенные формы), либо сушка на всю толщу формы (сухие формы). Прочность формы при этом повышается. Для обеспечения заданных геометрической точности и точности размеров отливок рекомендуется выбирать формы с учетом массы отливок: для отливок массой до 1 т используют сырые формы, отливки массой от 1 до 2 т изготавливают в подсушенных формах, а отливки свыше 2 т — в сухих формах.

Прочность смесей для стержней после теплового или химического упрочнения достигает $\sigma_р = 1...3$ Н/мм^2, при этом прочность смесей при сжатии для стержней в неупрочненном состоянии является низкой (0,005 Н/мм^2).

В процессе затвердевания и охлаждения отливки форма и стержень должны иметь хорошую податливость для предотвращения горячих и холодных трещин в отливках.

Во время выбивки необходимо обеспечить хорошее отделение формовочных смесей от отливки, т.е. их выбиваемость.

Выбиваемость, или остаточная прочность, — способность формовочных смесей отделяться от отливки при выбивке. Остаточная прочность песчано-глинистых смесей не должна превышать $\sigma_{ост} = 0,2$ Н/мм^2.

Теплофизические свойства смесей определяют теплообмен отливки и формы, от которого зависит скорость затвердевания, а следовательно, и структура отливок, и их механические свойства, а также время выбивки отливок. Кроме того, от теплообмена отливки с формой зависит глубина прогрева формы, от которой, в свою очередь, зависит потеря активности компонентами смеси и необходимое их освежение (восстановление технологических свойств).

Теплофизические свойства формовочных материалов оцениваются коэффициентами теплоаккумуляции $b_ф$ и температуропроводности $a_ф$:

$$b_ф = \sqrt{\lambda c \rho},\ Вт \cdot с^{1/2}/(м^2 \cdot К);\ a_ф = \lambda/(c\rho),\ м^2/с,$$

где λ — коэффициент теплопроводности, Вт /(м · К); c — удельная теплоемкость, Дж/(кг · К); ρ — плотность вещества, кг/м^3.

Пластичность — способность формовочных смесей деформироваться и сохранять полученную деформацию после снятия нагрузки.

Газотворность — способность формовочных смесей выделять газы при заливке металла.

Газопроницаемость — способность формовочных смесей пропускать газы.

Гигроскопичность — способность формовочных смесей адсорбировать влагу из окружающей среды, при этом часто механические свойства уплотненных смесей (особенно стержневых) снижаются.

Долговечность — способность формовочных смесей к многократному использованию.

3.2. ФОРМОВОЧНЫЕ ПЕСКИ

3.2.1. Кварцевые пески

Основой кварцевых песков является диоксид кремния SiO_2 — кремнезем. Чем больше кремнезема содержится в песке, тем он качественнее. На механические свойства формовочных и стержневых смесей, особенно холоднотвердеющих, оказывает влияние водородный показатель pH, который представляет собой отрицательный логарифм концентрации водородных ионов, т.е. $pH = -(\log H^+)$. В нейтральном растворе концентрация H^+ и OH^- одинакова pH = 7, для щелочной среды pH > 7, для кислой среды pH < 7. Чистые пески имеют показатель pH, близкий к 7.

Температура плавления кварца 1713 °С, а огнеупорность в зависимости от чистоты составляет 1500...1770 °С, твердость по шкале Мооса равна 7. При нагревании в кварце происходят модификационные превращения: β-кварц, стабильный при нормальной (20 °С) температуре, переходит при температуре 573 °С в α-кварц. Это превращение сопровождается увеличением объема кварца в зависимости от его состава на 0,86...1,30 %. Объемные изменения кварца влияют на образование ужимин (см. гл. 15).

Кварцевые пески чаще всего используются в качестве огнеупорной составляющей при приготовлении смесей. Кварцевый песок и глина образуются в природе путем выветривания горных пород. В зависимости от состава горной породы образуются отложения с разным соотношением песка и глины, причем продукты выветривания часто относятся ветром или водой, т.е. происходит частичное или полное их разделение. Пески, имеющие более круп-

ные и тяжелые зерна, оседают быстрее, чем частицы глины, т.е. последние переносятся дальше. В процессе переноса приобретается форма и формируются свойства песка.

По принятой в России геологической классификации кварцевые пески разделяют на эоловые и элювиальные, ледниковые, морские, дельтовые, озерные.

Кварцевые пески, образовавшиеся вследствие выветривания горной породы (эоловые и элювиальные), отличаются высокой равномерностью размеров частиц со средним их диаметром 0,2...0,3 мм. К ним относятся пески месторождений в районе р. Волги (Орловское), на Урале (Басьяновское) и др.

Пески ледниковые имеют неравномерную зернистость с большим содержанием глинистых составляющих. В литейном производстве они используются только после обогащения, т.е. после промывки и удаления глинистых частиц. К ним относятся пески месторождений в Ленинградской (Крупельское), Псковской (Струги Красные), Волгоградской (Чапурниковский карьер) областях и др.

Значительными являются месторождения кварцевых песков морских отложений. Эти пески отличаются высокой однородностью, малым содержанием глинистых частиц и примесей. К ним относятся известные месторождения Московской (Люберецкие карьеры), Ростовской (Ореховские), Самарской (Балашейские), Челябинской (Кичигинские) областей и др.

Кварцевые пески дельтовые и элювиальные образовались вследствие выноса разрушенных горных пород реками, морскими течениями или паводковыми водами, накопления и их высыхания. К ним относятся месторождения Московской (Луховицкое) и Ленинградской (Новинское) областей.

3.2.2. Классификация песков по ГОСТ 2138—91

Формовочные пески на основе кварца в зависимости от содержания глинистой составляющей по ГОСТ 2138—91 подразделяют на кварцевые (до 2 % глинистой составляющей), тощие (свыше 2 до 12 %) и жирные (свыше 2 до 50 %). Глинистой составляющей называются частицы с условным диаметром 22 мкм. Если в минерале таких частиц больше 50 %, то их относят к глинам. Кварцевые и тощие пески подразделяют на группы в зависимости от содержания глинистой составляющей (табл. 3.2), кремнезема (диоксида кремния) (табл. 3.3), по коэффициенту однородности (табл. 3.4) и среднего размера зерна кремнезема (табл. 3.5). Жирные пески подразделяют на группы в зависимости от предела прочности при сжатии (табл. 3.6) и среднего размера зерна (см. табл. 3.5).

Примеры марок песков: $3К_3О_202$ — кварцевый песок с содержанием глинистых не более 1 %, кремнезема — не менее 97 %.

Таблица 3.2. **Классификация кварцевых и тощих песков по содержанию глинистой составляющей**

Группа	Содержание глины, мас. %, не более, в песке	
	кварцевом	тощем
1	0,2	4,0
2	0,5	8,0
3	1,0	12,0
4	1,5	—
5	2,0	—

Таблица 3.3. **Классификация кварцевых и тощих песков по содержанию кремнезема**

Кварцевый песок		Тощий песок	
Группа	SiO_2, мас. %, не менее	Группа	SiO_2, мас. %, не менее
$К_1$	99	$Т_1$	96
$К_2$	98	$Т_2$	93
$К_3$	97	$Т_3$	90
$К_4$	95		
$К_5$	93		

Таблица 3.4. **Классификация песков по коэффициенту однородности**

Группа	Коэффициент однородности, %
$О_1$	Свыше 80
$О_2$	Свыше 70 до 80
$О_3$	Свыше 60 до 70
$О_4$	Свыше 50 до 60
$О_5$	До 50

Таблица 3.5. **Классификация кварцевых, тощих и жирных песков по среднему размеру зерна**

Группа	Средний размер зерна, мм
01	До 0,14
016	Свыше 0,14 до 0,18
02	Свыше 0,19 до 0,23
025	Свыше 0,24 до 0,28
03	Свыше 0,28

Таблица 3.6. **Классификация жирных песков по пределу прочности при сжатии**

Группа	Предел прочности при сжатии во влажном состоянии, $Н/мм^2$
$Ж_1$	Свыше 0,08
$Ж_2$	Свыше 0,05 до 0,08
$Ж_3$	До 0,05

Коэффициент однородности песка — свыше 70 до 80 %, средний размер зерна — свыше 0,19 до 0,23 мм;

$Ж_1016$ — жирный песок с пределом прочности при сжатии более 0,08 Н/мм^2 и средним размером зерна свыше 0,14 до 0,18 мм;

$2Т_2016$ — тощий песок с содержанием глинистых составляющих не более 8 %, кремнезема — не менее 93 %, средний размер зерна свыше 0,14 до 0,18 мм.

3.2.3. Определение содержания глинистых составляющих

Для определения содержания глинистых составляющих используется метод осаждения (применяемое иногда название «метод отмучивания» не отражает физической сути метода). Пробу песка массой 50 г засыпают в стеклянную банку и заливают водой (475 см^3), затем добавляют 25 см^3 1 %-ного раствора едкого натрия (для лучшего отделения глинистых составляющих от песка).

Для перемешивания раствора используют смеситель — лопастную мешалку (рис. 3.1, *а*). Смеситель состоит из подставки *4* с вертикальной направляющей *3*, по которой перемещается головка *1* с электродвигателем, включение которого осуществляется тумблером *10*. В нижней части головки *1* насажены вал *9* с быстро вращающейся лопастью *7* и три регулируемые направляющие прутки-лопатки *8* с поперечным эллиптическим сечением, служащие для повышения эффективности перемешивания. В подставке аппарата находится резиновая прокладка *5* с соответствующей выемкой для установки стеклянного сосуда *6*. Перемещение головки *1* по направляющей *3* производится вверх и вниз при нажатии рычага *2*, фиксация — при отжатии рычага.

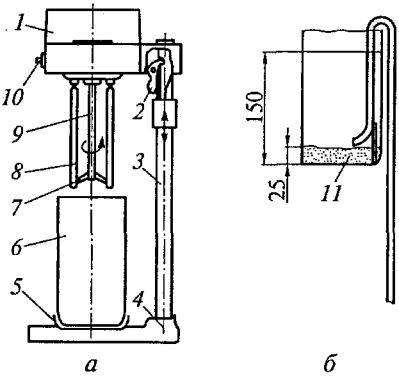


Рис. 3.1. Аппарат для определения глинистых составляющих методом осаждения:

а — лопастная мешалка; *б* — слив воды с частицами менее 0,022 мм через сифон; *1* — головка с электродвигателем; *2* — рычаг; *3* — направляющая; *4* — подставка; *5* — резиновая прокладка; *6* — стеклянный сосуд; *7* — лопасть; *8* — прутки-лопатки; *9* — вал; *10* — тумблер; *11* — частицы крупнее 0,022 мм

Раствор интенсивно перемешивают в лопастной мешалке в течение 10 мин, далее добавляют воду до отметки 150 мм. Затем осадок взбалтывают стеклянной палочкой и дают в течение 10 мин отстояться, после чего воду сливают сифоном до отметки 25 мм (рис. 3.1, *б*). Процесс повторяют, но с выдержкой 5 мин, до тех

пор, пока вода не станет прозрачной. Скорость осаждаемых частиц определяют по закону Стокса, используя уравнение

$$v = d^2(\rho_1 - \rho_2)g/(18\eta),$$

где d — диаметр частиц, м; ρ_1 — плотность осаждающейся частицы, кг/м^3; ρ_2 — плотность воды, кг/м^3; g — ускорение силы тяжести, g = 9,81 м/с^2; η — динамическая вязкость, Па·с.

Если ρ_1 = 2650 кг/м^3, ρ_2 = 1000 кг/м^3, η = 0,001165 Па·с при 15 °С, то для глинистых частиц крупностью менее 0,022 мм v = = 0,000308 м/с.

Время опускания частицы крупностью 0,022 мм с верхнего уровня H = 150 мм до отметки 25 мм составит $\tau = S/v$ = 0,125/0,000308 = = 406 с. Поэтому в первом опыте выдержку принимают равной 10 мин, а в последующих — 5 мин.

При изменении температуры воды изменяется ее динамическая вязкость, а значит и время осаждения частиц. Поэтому при испытаниях важно поддерживать постоянную температуру воды. Все частицы менее 0,022 мм удаляются из раствора после 10 и последующих 5 мин отстаивания. Остаток песка высушивают и взвешивают. Относительное содержание глинистых составляющих в песке, %, определяют по уравнению

$$Гл = (m_{исх} - m_{ост})100/m_{исх},$$

где $m_{исх}$ — масса исходной навески песка, $m_{исх}$ = 50 г; $m_{ост}$ — масса остатка песка после осаждений и высушивания, г.

3.2.4. Определение среднего размера зерна и коэффициента однородности (ГОСТ 29234.3—91)

Средний размер зерна и коэффициент однородности находят после определения зернового состава песка ситовым анализом. Высушенный отмытый песок, полученный после отделения глинистой составляющей, просеивают в течение 15 мин на вибрационной установке через стандартный (ГОСТ 3584—91) комплект сит с размерами ячеек, приведенными в табл. 3.7.

Таблица 3.7. **Характеристика стандартного комплекта сит (по ГОСТ 3584—91)**

Номер сита	Размер ячейки, мм	Номер сита	Размер ячейки, мм
2,5	2,5	02	0,2
1,6	1,6	016	0,16
1	1,0	01	0,1
063	0,63	0063	0,063
04	0,4	005	0,05
0315	0,315	Тазик	0

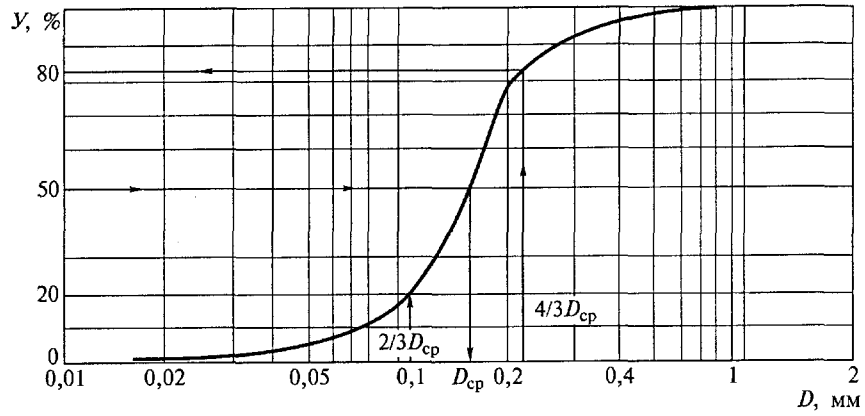


Рис. 3.2. Интегральная кривая распределения частиц по размерам:

D — размер стороны ячейки в свету; $D_{ср}$ — средний размер зерна; $У$ — содержание частиц соответствующих размеров

Результаты определения зернового состава представляются в виде интегральной кривой распределения частиц по размерам, которая используется для определения среднего размера зерна и коэффициента однородности. Для построения кривой по оси абсцисс (рис. 3.2) откладывают в логарифмическом масштабе размер сторон ячеек сетки в свету, а по оси ординат — суммарное содержание частиц меньше данного размера, %, которое вычисляют по уравнению

$$У_i = \frac{\sum m_i}{m_{исх}} 100,$$

где $\sum m_i$ — суммарная масса остатков на ситах с ячейками меньше данного размера, г; $m_{исх}$ — масса исходной навески, $m_{исх}$ = 50 г.

Средний размер зерна определяется точкой пересечения интегральной кривой и прямой, проведенной через ординату, равную 50 %. Средний размер зерна ($D_{ср}$) соответствует размеру сторон ячеек сита, через которое проходит 50 % песчаной основы (см. рис. 3.2).

Для определения коэффициента однородности ($О$, %) по интегральной кривой находят процентное содержание частиц размером меньше $4/3D_{ср}$ и $2/3D_{ср}$ (см. рис. 3.2). Коэффициент однородности равен разности этих значений. Например, если на рис. 3.2 частицам $4/3D_{ср}$ соответствует их содержание 83 %, а значению $2/3D_{ср}$ — 20 %, то $О = У_{4/3D_{ср}} - У_{2/3D_{ср}} = 83 - 20 = 63$ %.

Согласно ГОСТ 2138—91 кварцевые пески должны соответствовать определенным требованиям. В соответствии с этими требованиями пески различаются по содержанию влаги, показателю pH, коэффициенту угловатости (табл. 3.8), а также по содер-

Таблица 3.8. **Классификация кварцевых песков по содержанию влаги, показателю pH и коэффициенту угловатости**

Контролируемый параметр	Классификация кварцевых песков по ГОСТ 2138—91
Содержание влаги, мас. %, не более:	
0,5	Сухие
4,0	Влажные
6,0	Сырые
Значение pH:	
до 6,2	Кислые
6,2 ... 7,0	Нейтральные
более 7,0	Щелочные
Форма зерна песка при коэффициенте угловатости, не более:	
1,10	Округлая
1,25	Полуокруглая
1,40	Угловатая

Таблица 3.9. **Требования к кварцевым пескам по содержанию вредных примесей**

Содержание вредных примесей, мас. %, не более		Классификация содержания вредных примесей
Оксиды щелочных и щелочноземельных металлов (NaO, KaO, MgO, CaO)	Оксид железа (Fe_2O_3)	
0,4	0,2	Очень низкое
0,8	0,4	Низкое
1,2	0,6	Среднее
1,6	0,8	Высокое
2,0	1,0	Очень высокое

Таблица 3.10. **Требования к кварцевым и тощим пескам по газопроницаемости, удельной поверхности и потерям при прокаливании**

Контролируемый параметр	Классификация кварцевых и тощих песков
Газопроницаемость, ед., не менее:	
550	Очень высокая
350	Высокая
200	Средняя
100	Низкая
30	Очень низкая
Удельная поверхность, $см^2/г$, не менее:	
15	Высокая
10	Средняя
5	Низкая
Потери при прокаливании, %, не более:	
0,3	Низкие
1,0	Средние
3,0	Высокие

жанию вредных примесей (табл. 3.9). Содержание сульфидной серы в кварцевых формовочных песках не должно превышать 0,05 мас. % (определяют при геологической разведке новых месторождений). Кварцевые и тощие пески должны отвечать определенным требованиям по таким показателям, как газопроницаемость, удельная поверхность и потери при прокаливании (табл. 3.10).

3.2.5. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ

Кварцевые пески применяются при изготовлении литейных форм для чугунных и стальных отливок. При изготовлении стальных отливок используются пески с диаметром частиц, несколько большим (на одну градацию сита), чем для чугунных отливок. Это необходимо для повышения огнеупорности и газопроницаемости смеси. Для изготовления стержней при использовании в качестве связующего термореактивных смол применяется кварцевый песок, содержащий менее 0,5 % глинистых составляющих. Это связано с тем, что при большем содержании глинистых составляющих резко возрастает расход дорогостоящего связующего, что приводит к удорожанию смесей и отливок. Одновременно возрастает газотворность смесей, что может привести к повышенному браку по газовым раковинам. Смолы относятся к дорогостоящим связующим, однако они обеспечивают существенное повышение точности стержней и отливок.

Показатели качества, регламентируемые для лучших отечественных марок песков, отвечают уровню требований стандартов Германии, Англии, США.

3.2.6. НЕКВАРЦЕВЫЕ ПЕСКИ

При изготовлении крупных отливок из легированных сталей в качестве наполнителя формовочных смесей применяют высокоогнеупорные и химически инертные материалы.

Хромит (хромистый железняк) $FeO \cdot Cr_2O_3$ является широко распространенным природным сырьем. Хромитовый песок получают путем размола и рассева руды хромистого железняка. Для литейного производства рекомендуется использовать хромиты, содержащие, мас. %: Cr_2O_3 не менее 45; Fe_2O_3 не более 26; SiO_2 не более 8 и CaO не более 2,5. Хромитовые пески на ситах 1,6—01 имеют остаток 60...70 %, на ситах 0063, 005 и в тазике — 30...40 %.

При относительно высокой температуре плавления 1800 °С и содержании Cr_2O_3 до 40 % хромитовый песок имеет низкую температуру спекания (1100 °С), а смеси на его основе обладают высокой прочностью при термическом ударе. Благодаря высокому

коэффициенту теплоаккумуляции хромита (2380 по сравнению с 1628 $Вт \cdot с^{1/2}/(м^2 \cdot К)$ для кварцевого песка) зона конденсации влаги в сырой форме на его основе образуется на значительно большей глубине, чем в смесях на кварцевом песке. Хромит химически инертен к оксидам железа при высоких температурах в любой газовой атмосфере, плохо смачивается жидким металлом, имеет малый температурный коэффициент линейного расширения. Все эти факторы при изготовлении крупных стальных отливок способствуют предотвращению образования химического и механического пригара, ужимин, улучшают условия кристаллизации металла. Хромитовые пески нельзя смешивать с кварцевыми во избежание образования пригара на отливках.

Наиболее вредной примесью в хромитовых песках является углекислый кальций $CaCO_3$, который при нагревании выделяет CO_2 с последующим образованием газовых раковин.

Хромомагнезит получают в результате обжига смеси, состоящей из 50...70 % хромитовой руды и 30...50 % металлургического магнезита; он содержит MgO не менее 42 % и Cr_2O_3 не менее 15 %; имеет температуру плавления до 2200 °С. Хромомагнезитовый песок рекомендуется получать из отходов кирпича при ремонте мартеновских и электрических печей путем помола и рассева. Оксиды железа образуют с хромомагнезитом тугоплавкие и малоподвижные соединения, которые препятствуют внедрению металла в глубь формы. Хромомагнезитовый песок наиболее целесообразно применять при изготовлении крупных отливок из высоколегированных сталей. Условия применения хромомагнезитового песка аналогичны условиям использования хромитового песка.

Цирконовый песок представляет собой природный минерал — силикат циркония $ZrO_2 \cdot SiO_2$, встречающийся в россыпях. Используется цирконовый концентрат естественной крупности после обогащения.

Циркон обладает высокой огнеупорностью (температура плавления 2430...2450 °С), инертностью по отношению к расплавленному железу, марганцу и их оксидам, низким температурным коэффициентом линейного расширения, большой теплоаккумулирующей способностью. Цирконовый песок хорошо совместим с различными связующими: глиной, жидким стеклом, органическими связующими, синтетическими смолами. Формовочные смеси на основе цирконового песка целесообразно использовать при наиболее тяжелых тепловых условиях литья: длительном воздействии высоких температур и высоком металлостатическом давлении.

В соответствии с ОСТ 48-82—81 содержание диоксида циркония в зернистом материале должно быть не менее 65 %. Примесей оксидов железа, титана (TiO_2), алюминия (Al_2O_3) и фосфора (P_2O_5) соответственно не более 0,1; 0,4; 2,0 и 0,15 мас. %. Влаж-

ность цирконового песка должна быть не выше 0,5 мас. %, остаток на сите 0315 не допускается, остаток на ситах 016, 01 и 0063 — не менее 90 %.

Радиационно безопасная норма содержания долгоживущих естественно-радиоактивных элементов менее 10^{-9} Ки/г и содержание оксидов кальция (CaO) и магния (MgO) менее 0,1 мас. % гарантируется технологией производства цирконового концентрата. Предельно допустимая концентрация (ПДК) цирконсодержащей пыли в воздухе рабочей зоны 2 мг/м^3. В помещениях, где проводятся работы с цирконовым концентратом, должна регулярно проводиться влажная уборка полов и поверхностей оборудования или пневмоуборка. В этих помещениях запрещается хранить и употреблять пищевые продукты, курить, пользоваться косметикой. К работе с цирконовым концентратом допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний.

Цирконовый концентрат поставляется в мешках массой 50 кг, контейнерах массой не более 2 т или в цементовозах.

Шамот получают путем обжига каолинов и огнеупорных глин. Шамот содержит 30...70 мас. % муллита ($3Al_2O_3 \cdot SiO_2$); имеет огнеупорность 1690...1770 °С. Шамотный песок получают из кускового шамота путем его размола и рассева на фракции, аналогичные маркам кварцевого песка. В литейных цехах используют также шамотный песок, получаемый помолом боя шамотного кирпича. Шамотный песок применяют для сухих форм при производстве крупных чугунных и стальных отливок, в том числе для форм многоразового использования.

Шамот не имеет структурных превращений, имеет низкий температурный коэффициент линейного расширения, инертен в отношении к расплавленному металлу. Эти его свойства обеспечивают получение отливок высокого качества.

К алюмосиликатным материалам относятся муллит и корунд.

Муллит — высокоогнеупорный материал, имеющий формулу $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, получается при сплавлении каолина с корундом.

Корунд (Al_2O_3) — минерал синего цвета. Синтетический корунд получают сплавлением боксита и чистых высокоглиноземистых глин. Он содержит до 95 % Al_2O_3 и отличается высокой огнеупорностью, малой химической активностью и отсутствием объемных изменений при нагреве.

Муллит и корунд применяют при изготовлении противопригарных красок для стального литья и в качестве наполнителя для изготовления форм при литье по выплавляемым моделям.

Дистен-силлиманитовый песок получают на основе природного алюмосиликата $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ в результате выделения его из смеси минералов. Дистен-силлиманит состоит из двух минералов — дистена (кианита) $Al_2O_3 \cdot SiO_4$ и силлиманита $Al(AlSiO_5)$ с

содержанием не менее 57 % Al_2O_3 и не менее 39 % SiO_2. Дистен-силлиманитовый песок применяют в основном в красках при получении крупных отливок из легированных и марганцовистых сталей. Выпускается по ТУ 48-4-307—74 двух марок: КДС3 и КДС3-1. Зерновой состав соответствует остатку на ситах 02; 016; 01 не менее 90 %. В марке КДС3-1 при массовой доле оксида алюминия выше 54 % на каждый 1 % увеличения Al_2O_3 допускается повышение содержания диоксида титана на 0,2 %. Концентрат марки КДС3 поставляется навалом в крытых железнодорожных вагонах, обитых внутри дегтевой бумагой по ГОСТ 515—77, в цементовозах, цистернах или мягких контейнерах по ОСТ 680—80.

Оливин представляет собой изоморфную смесь форстерита $3MgO \cdot 4SiO_2$ (температура плавления 1900 °С) и фаялита $2FeO \cdot SiO_2$ (температура плавления 1200 °С). Добывается оливин в виде кусков, и поэтому для использования в формовочных смесях его необходимо измельчать и классифицировать. Для приготовления формовочных песков следует применять оливиновые породы, содержащие до 10 % фаялита, так как огнеупорность оливина с увеличением содержания железа понижается.

Оливин не имеет аллотропических превращений, стоек к ошлакованию оксидами железа, однако при изготовлении стальных отливок оливиновые пески не должны смешиваться с кварцевыми песками, поскольку при нагревании они вступают в химическую реакцию, образуя легкоплавкие соединения.

Оливиновые пески можно использовать при изготовлении отливок из чугуна и сталей всех типов, особенно марганцовистых.

В России оливиновые пески централизованно не выпускаются, они широко используются в скандинавских странах, богатых оливиновыми месторождениями. По зерновому составу оливиновые пески близки к естественным кварцевым пескам групп крупности 0315, 02, 016. Использование оливиновых песков не вызывает заболевания силикозом.

Тальк ($3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$) имеет температуру плавления 1200 °С, применяется в качестве припылов, огнеупорного наполнителя в замазках и красках для цветного литья.

3.3. ФОРМОВОЧНЫЕ ГЛИНЫ И ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ СМЕСИ

Литейными формовочными глинами называются горные породы, состоящие из тонкодисперсных частиц (размером менее 22 мкм) водных алюмосиликатов и обладающие связующей способностью и термохимической устойчивостью, что позволяет использовать их в качестве связующего для приготовления прочных и не пригорающих к отливке формовочных смесей. Различают при-

родные глины первичные — оставшиеся на месте образования и вторичные — перенесенные с места образования.

По виду породообразующего минерала используемые глины подразделяются на каолинитовые, монтмориллонитовые и гидрослюды. Структуру глинистых минералов можно рассматривать как сочетание перемежающихся слоев различных групп атомов кислорода, кремния, алюминия, водорода, калия и др. Комбинации из этих слоев образуют пакеты.

Каолинит ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot nH_2O$) является главной составной частью каолина и большинства других глин. Каолинит — водный алюмосиликат белого цвета, его твердость 2...2,5 по шкале Мооса, плотность 2,58...2,60 г/см^3, температура плавления 1750...1790 °С. При нагреве до 100...140 °С каолинит теряет гигроскопическую воду, при 350...580 °С он теряет конституционную воду и переходит в метакаолинит ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), т.е. глина теряет свои связующие свойства. Данный процесс называется «шамотизацией глины». При 900...1050 °С метакаолинит распадается на смесь аморфных составляющих — Al_2O_3 и SiO_2. В интервале температур 1200...1280 °С образуется муллит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, не обладающий связующей способностью и являющийся огнеупорным материалом.

Пакет каолинита состоит из слоя кремнекислородной тетраэдрической упаковки с атомами кислорода в вершинах и кремния в центре, а также гидроксильных групп, в которых в виде октаэдрической упаковки расположены атомы алюминия. Межплоскостное расстояние составляет $(7{,}13...7{,}20) \cdot 10^{-4}$ мкм. Пакеты-соседи удерживаются водородными связями, возникающими между кислородом тетраэдров и водородом внешних ОН-групп.

Монтмориллонит ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O \cdot mH_2O$) является основным породообразующим минералом бентонитовых глин (с температурой плавления 1250...1300 °С). Химический состав монтмориллонита непостоянный. Монтмориллонит — мягкий материал белого, розового, синеватого или зеленоватого цвета; при нагреве до 100 °С он выделяет 18 % воды, в интервале температур 500...700 °С теряет конституционную воду и способность набухать в воде. При 735...850 °С происходит разрушение кристаллической решетки, и материал превращается в аморфное вещество.

Пакет монтмориллонита состоит из двух кремнекислородных тетраэдрических слоев, расположенных на внешних плоскостях, и одного внутреннего алюмокислородного с гидроксильными ОН-группами октаэдрической упаковки. Межплоскостное расстояние составляет $(9{,}2...9{,}4) \cdot 10^{-4}$ мкм. В каждом пакете монтмориллонита, как и в пакете каолинита, ионы связаны между собой прочными валентными связями. Связь между пакетами в монтмориллоните осуществляется межмолекулярными силами между одноименными внешними ионами кремнекислородного тетраэдра. Эта связь более слабая, чем в каолините, поэтому вода может

легко проникать между пакетами, увеличивая межплоскостное расстояние до $21{,}4 \cdot 10^{-4}$ мкм, а объем — в 10—15 раз.

Мусковит ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$) относится к двухслойным алюминиевым гидрослюдам. Гидрослюдистые глины представляют собой промежуточные продукты разложения от слюд к каолиниту. Структура кристаллической решетки мусковита аналогична структуре монтмориллонита с тем лишь отличием, что вместо молекул воды между пакетами расположены ионы калия и каждый четвертый ион кремния в кремнекислородном тетраэдре замещен ионом алюминия. В мусковите за счет ионов калия между пакетами действует валентная связь, однако она слабее, чем валентная связь внутри пакета. Межплоскостное расстояние в мусковите составляет около $10 \cdot 10^{-4}$ мкм. Таким образом, наиболее слабые связи между пакетами у монтмориллонита наиболее прочные у мусковита, а каолинит занимает промежуточное положение. Прочность связи между пакетами обусловливает способность глин к набуханию.

3.3.1. Классификация глин

Последними стандартами глины подразделены на огнеупорные формовочные каолинитовые (ГОСТ 3226—93) и бентонитовые (ГОСТ 28177—89).

Огнеупорные формовочные глины. Огнеупорность этих глин не ниже 1580 °С, и в соответствии с ГОСТ 3226—93 их классифицируют по ряду признаков, приведенных в табл. 3.11.

По физико-механическим свойствам глины подразделяются в соответствии с ГОСТ 3226—93 на марки (табл. 3.12). В приведенных марках глин буквы означают следующее: П — прочная, С — среднепрочная, М — малопрочная; а цифры: 1 — высокосвязую-

Таблица 3.11. **Классификация каолинитовых глин**

Показатель	Норма показателя по ГОСТ 3226—93		
	Высокая	Средняя	Низкая
Содержание Al_2O_3, мас. %	Свыше 33,0	28,0...33,0	23,0...28,0
Содержание железа в пересчете на Fe_2O_3, мас. %	3,0...4,5	1,5...3,0	Не более 1,5
П.п.п.*, мас.%	14,0...18,0	10,0...14,0	Не более 10,0
Коллоидальность, мас. %	Свыше 20,0	14,0...20,0	8,0...14,0
Концентрация обменных катионов, мг-экв/100 г сухой глины	Свыше 25,0	15,0...25,0	7,0...15,0

* Потери при прокаливании — далее по тексту используется сокращенная форма записи — п.п.п., принятая в литературе по литью и металлургии.

Таблица 3.12. **Марки и физико-механические свойства огнеупорных глин**

Марка	Предел прочности при сжатии, Н/мм², не менее, по ГОСТ 3226—93	
	Влажное состояние глины	Сухое состояние глины
П1	0,050	0,35
П2	0,050	0,25
П3	0,050	0,15
С1	0,035	0,35
С2	0,035	0,25
С3	0,035	0,15
М1	0,020	0,35
М2	0,020	0,25
М3	0,020	0,15

щая, 2 — среднесвязующая, 3 — малосвязующая. Например, глины марки П2 являются прочными во влажном состоянии и среднесвязующими в сухом состоянии.

Огнеупорные глины добывают в основном предприятия огнеупорной и керамической промышленности. Многие из добываемых глин удовлетворяют требованиям ГОСТ 3226—93 и используются в литейном производстве, как правило, для сухих форм.

Бентонитовые глины. Требования к бентонитовым глинам установлены в соответствии с ГОСТ 28177—89. Химико-минералогические показатели бентонитовых глин приведены в табл. 3.13.

Классификационные признаки по ГОСТ 28177—89 по химико-минералогическим показателям приведены в табл. 3.14.

По физико-механическим свойствам бентонитовые глины подразделяются на три группы в зависимости от прочности во влажном состоянии: прочная (П) глина с пределом прочности при сжатии не менее 0,09 Н/мм², среднепрочная (С) — не менее 0,07 Н/мм² и малопрочная (М) — не менее 0,05 Н/мм².

Таблица 3.13. **Химико-минералогические показатели бентонитовых глин**

Показатель	Норма по ГОСТ 28177—89
Содержание в глине, мас. %:	
монтмориллонита, не менее	30,0
карбонатов в пересчете на $CaCO_3$, не более	10,0
сульфидной серы, не более	0,3
железа в пересчете на Fe_2O_3, не более	12,0
Концентрация обменных катионов, мг-экв/100 г сухой глины, не менее	30,0
Коллоидальность, мас. %, не менее	10,0
Водопоглощение, ед., не менее	1,0

Таблица 3.14. **Классификационные признаки формовочных бентонитовых глин в зависимости от химико-минералогических показателей**

Показатель	Норма по ГОСТ 28177—89
Содержание в глине, мас. %:	
монтмориллонита:	
высокое	Свыше 70
среднее	Свыше 50 до 70
низкое	Свыше 30 до 50
карбоната в пересчете на $CaCO_3$:	
низкое	До 2
среднее	Свыше 2 до 5
высокое	Свыше 5 до 10
сульфидной серы:	
высокое	Свыше 0,2 до 0,3
низкое	До 0,2
железа в пересчете на Fe_2O_3:	
низкое	До 4
среднее	Свыше 4 до 8
высокое	Свыше 8 до 12
Концентрация обменных катионов, мг-экв/100 г сухой глины:	
высокая	Свыше 80
средняя	Свыше 50 до 80
низкая	Свыше 30 до 50
Коллоидальность, мас. %:	
высокая	Свыше 80
средняя	Свыше 40 до 80
низкая	Свыше 10 до 40
Водопоглощение, ед.:	
высокое	Свыше 6,5
среднее	Свыше 5,1 до 6,5
низкое	Свыше 1 до 5

Примечание. При суммарном преобладании в обменном комплексе ионов калия и натрия природные бентонитовые глины классифицируются как натриевые (Н), при суммарном преобладании ионов кальция и магния — как кальциевые (К).

По прочности при разрыве в зоне конденсации бентонитовые глины подразделяют на четыре группы: 1-я группа объединяет высокосвязующие глины (не менее 0,0028 Н/мм²), 2-я группа — связующие (не менее 0,002 Н/мм²), 3-я группа — среднесвязующие (не менее 0,0015 Н/мм²) и 4-я группа — малосвязующие (без указания значений прочности). По термической устойчивости (см. далее уравнение для T_y на с. 77) различают три группы бентонитовых глин: T_1 — высокоустойчивая глина с показателем 0,6; T_2 —

среднеустойчивая с показателем не менее 0,3 и $Т_3$ — низкоустойчивая без указания значений показателя.

Например, бентонитовая глина марки $С1Т_2$ является среднепрочной во влажном состоянии ($\sigma_{вл} \leq 0{,}07$ Н/мм^2), высокосвязующей по прочности при разрыве в зоне конденсации влаги ($\sigma_{з.к} \geq \geq 0{,}0028$ Н/мм^2) и имеет среднюю (не менее 0,3 ед.) термическую устойчивость.

По гранулометрическому составу и содержанию влаги порошкообразные бентониты должны соответствовать следующим требованиям:

Показатель	*Норма*
Остаток, мас. %, на ситах с размером ячеек, мм, не более:	
0,4	3
0,16	10
Содержание влаги, мас. %	6...10

Связующую способность бентонитовых глин по пределу прочности при сжатии во влажном состоянии оценивают следующим образом. Отобранную для испытаний глину в порошкообразном виде предварительно сушат слоем 10 мм на противне при температуре 105...110 °С в течение 3 ч. Далее готовят 3 кг песчано-бентонитовой смеси, состоящей из 95 частей песка и 5 частей глины, перемешивая ее в течение 2 мин в лабораторных смесителях. Затем добавляют 6...7 см^3 воды, закрывают смеситель крышкой и перемешивают увлажненную смесь в течение 20 мин, после чего отбирают пробу смеси для определения ее уплотняемости, которая должна быть выше 60 %. При необходимости продолжают перемешивать смесь в смесителях с открытой крышкой, определяя каждые 1...2 мин показатели уплотняемости и прочности смеси при сжатии. Испытание прекращают с момента снижения прочности при сжатии. За предел прочности принимают среднее арифметическое результатов трех определений, при которых прочность при сжатии образцов будет наибольшей.

В процессе испытания прочности при сжатии во влажном состоянии определяют также предел прочности при разрыве в зоне конденсации влаги, для чего отбирают пробу смеси с показателем уплотняемости 45...50 %.

Для определения прочности при разрыве в зоне конденсации влаги в состоянии оптимальной активации добавляют в смеситель 1 см^3 раствора-активатора (кальцинированной соды), перемешивают смесь в течение 1...3 мин и при повторном достижении показателя уплотняемости 45...50 % определяют прочность при разрыве в зоне конденсации.

Методика определения термической устойчивости бентонитовых глин основана на определении потери прочности

при сжатии во влажном состоянии после нагрева. Для испытаний используют две навески порошкообразной глины массой 200 г, помещенные в две выпарительные чаши. Легким постукиванием по чаше выравнивают поверхностный слой глины и помещают чаши с глиной в предварительно нагретую до температур 550 °С муфельную печь. Одновременно прокаливают две навески глины в течение 1 ч при температуре 550 °С.

После прокаливания чашу с глиной помещают в эксикатор, выдерживают до комнатной температуры, перемешиванием лопаточкой усредняют прокаленную глину по составу и отбирают для испытаний навеску массой 100 г. Последовательно готовят смеси массой 2 кг с исходной и прокаленной глиной и продолжают испытание для определения предела прочности при сжатии во влажном состоянии по упомянутой методике.

Термическую устойчивость вычисляют по уравнению

$$T_y = \sigma'/\sigma'',$$

где σ' — предел прочности при сжатии во влажном состоянии по результатам испытания смеси с прокаленной глиной, Па; σ'' — то же, для смеси с исходной глиной, Па.

По значениям прочностных характеристик и термической устойчивости определяют марку бентонитовых глин. При контроле бентонитовых глин, поставляемых в порошкообразном виде, проводят дополнительные испытания на определение гранулометрического состава и влагосодержания бентонитовых порошков.

Метод определения гранулометрического состава порошкообразных глин основан на нахождении массового распределения частиц по крупности путем сухого рассева на ситах с последующим определением массы глины полученных классов крупности и вычислением их процентного содержания в общей массе, взятой для ситового анализа. Используют комплект сит с сетками 04 и 016 по ГОСТ 6613—86. Навеску бентонитовой порошкообразной глины массой 25 г с помощью мягкой кисти протирают последовательно через оба сита, избегая излишнего трения глинистых частиц. Массовую долю X остатка на сите, %, вычисляют из соотношения

$$X = (m_i/m_2)100,$$

где m_i — масса остатка на соответствующем сите, г; m_2 — масса навески, г.

За результат испытаний принимается среднее арифметическое из двух определений. Метод определения массовой доли влаги (влагосодержания) порошкообразных бентонитовых глин основан на определении уменьшения массы после высушивания навески глины при температуре 105...110 °С. Отобранную навеску глины массой 20 г помещают в предварительно высушенную до постоянной массы и взвешенную чашу или бюксу и сушат в сушильном шкафу

при температуре 105...110 °С в течение 30 мин. Чашу с навеской взвешивают, затем дополнительно сушат в течение 15 мин. Операцию повторяют до тех пор, пока разность двух последних взвешиваний будет не более 0,02 г. Далее чашу с глиной охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Массовую долю влаги, %, определяют параллельно на двух навесках и вычисляют по уравнению

$$X = \frac{m - m_1}{m} 100,$$

где m — масса навески глины до высушивания, г; m_1 — масса навески глины после высушивания, г.

За результат испытания принимают среднее арифметическое двух определений.

Кроме рассмотренных показателей бентонитовых глин следует отметить такие их свойства и методы определения этих свойств, как вид минерала, долговечность, коллоидальность, водопоглощение, активность глины.

Вид минерала можно определять по дифференциально-термическим кривым на специальном приборе. При этом в процессе нагрева испытуемого образца (5 г) фиксируются изменения массы навески образца, которые сопровождаются экзо- и эндотермическими эффектами. Характерные температуры t_1, t_2 и t_3 для бентонитов и каолинитов представлены в табл. 3.15.

Долговечность является важным параметром формовочных глин, характеризующим их способность сохранять связующие свойства в процессе многократного использования. Метод испытания глин на долговечность по ГОСТ 3594.8—77 основан на определении потери прочности сжатия во влажном состоянии после трехкратного нагрева образца смеси до 550 °С.

Коллоидальность характеризует способность глин к набуханию в воде. Степень набухания является важным показателем глин, особенно при использовании их в составе суспензий и противопригарных покрытий. Коллоидальность глин определяется по ГОСТ 3594.10—93.

Таблица 3.15. **Температурные остановки при нагреве глин**

Глина	Характерная температура, °С		
	t_1	t_2	t_3
Каолинит $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$	100...130	400...500	1200, $t_{пл} = 1580$
Бентонит $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O \cdot nH_2O$	100...120	350...550	950, $t_{пл} = 950$

Примечание. При характерной температуре t_1 происходит потеря свободной (капиллярной) влаги; при t_2 — потеря конституционной влаги из кристаллической решетки; при t_3 — полная потеря nH_2O (разрушение минерала).

Навеску глины массой 0,5 г помещают в мерную пробирку, наливают воду до общего объема 15 см^3 и взбалтывают до получения однородной суспензии. Добавляют 0,1 г оксида магния и снова взбалтывают в течение 1 мин. Затем пробирку оставляют в покое на 24 ч, после чего измеряют объем V образовавшегося осадка и далее вычисляют коллоидальность K, %, по формуле

$$K = \frac{V}{15}100.$$

Показатель водопоглощения, характеризующий степень активации и содержание введенной кальцинированной соды, определяется как соотношение масс воды и глины, которое по ГОСТ 28177—89 может колебаться от 1,0 до 6,5 ед.

В формовочных смесях глинистая составляющая состоит из неподвергшейся термическому разложению (не потерявшей конституционную воду) так называемой активной глины и неактивной шамотизированной глины. Поэтому необходимо контролировать как общее содержание мелочи (мелкой фракции размером частиц менее 22 мкм), так и содержание активной глины.

Общее содержание мелочи в смесях для формовки по-сырому должно составлять не более 15 % (обычно 9...12 %), что определяется методом осаждения. Содержание активного бентонита может быть определено только косвенными методами по прочности во влажном состоянии на сжатие и на срез, по уплотняемости смеси и по адсорбции метиленового голубого красителя.

Остановимся на ускоренном адсорбционном методе, при котором используют титрование метиленовым голубым в присутствии серной кислоты, для чего предварительно нужно построить тарировочный график зависимости объема V поглощенного красителя (метиленового голубого) от содержания активной глины A (рис. 3.3).

Навеску испытуемой смеси (5 г) помещают в колбу объемом 0,5 л, доливают 50 мл дистиллированной воды, кипятят в течение 5 мин, охлаждают до комнатной температуры, добавляют 2 мл 5 %-ного нормального раствора серной кислоты H_2SO_4 и тщательно перемешивают. После этого добавляют по 1 мл метиленового голубого (приготовленного из расчета 3,74 г на 1 л дистиллированной воды) до появления светло-зеленого ореола вокруг пятна

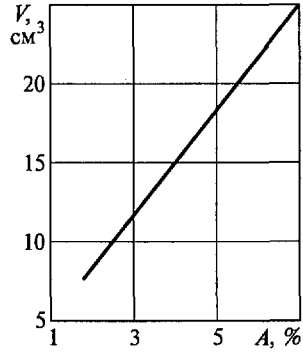


Рис. 3.3. Тарировочный график зависимости объема V поглощенного красителя от содержания A активной глины

от раствора смеси с метиленовым голубым, нанесенного стеклянной палочкой на фильтровальную бумагу. Если ореол утвердился, титрование метиленовым голубым прекращают. По содержанию израсходованного метиленового голубого находят по графику содержание активной глины.

Следует отметить, что свойства глин, особенно бентонитов, определяются большим числом параметров, которые взаимосвязаны между собой. Поэтому важно установить минимально возможное число контролируемых параметров. Одним из методов их установления является метод корреляционного анализа зависимостей параметров между собой по значениям коэффициентов парной корреляции.

Результаты использования ВНИИлитмашем метода корреляционного анализа для выяснения взаимного влияния различных параметров бетонита на прочность формовочных смесей и для определения необходимых и достаточных методов контроля бентонитов описаны в гл. 1 [52].

Сокращение числа контролируемых показателей требует регулярного (по крайней мере, не реже одного раза в год) определения и анализа всех параметров для подтверждения установленных зависимостей.

3.3.2. Активация глин

Известно, что концентрация обменных катионов у огнеупорных каолинитовых глин существенно меньше (см. табл. 3.11), чем у бентонитовых (см. табл. 3.13). Природные натриевые (щелочные) бентониты имеют более высокие свойства по сравнению с широко распространенными кальциевыми (щелочно-земельными). Поэтому кальциевые бентониты путем изменения обменного комплекса, называемого *активацией*, можно превращать в натриевые с помощью натриевых солей $Na_4P_2O_7$, Na_3PO_4 и Na_2CO_3, которые образуют труднорастворимые соли с катионами кальция и магния.

В процессе активации повышается дисперсность, набухаемость, водопоглощение глин и их связующая способность. Такие бентониты называют «активированными». Экспериментально установлено, что при искусственном получении натриевых бентонитов максимальная прочность при разрыве в зоне конденсации достигается при содержании в обменном комплексе 50...60 % щелочных и 40...50 % щелочно-земельных катионов.

При промышленном производстве активированных бентонитов используют два способа активации: «сухой» и «мокрый» (пастообразный).

Сухой способ заключается в интенсивном перемешивании бентонитового порошка влажностью 6...14 % с сухим активирую-

щим компонентом. При мокром способе активации перемешивают и перетирают компоненты при влагосодержании бентонитовой массы 26...45 %.

Более широко распространен способ мокрой активации, при котором получают активированные бентониты с более высокими значениями прочности на сжатие (во влажном состоянии) и на разрыв в зоне конденсации.

В некоторых случаях при наличии кальциевых бентонитов и отсутствии натриевых и промышленно-активированных кальциевых бентонитов применяют активацию кальциевых бентонитов перемешиванием смеси в бегунах с добавкой соды (Na_2CO_3). При этом достигается некоторый эффект активации, но прочностные свойства смеси уступают таковым при использовании промышленно-активированного бентонита.

Химической активации подвергают также огнеупорные каолинитовые глины. При этом в смесь вводят до 5 % тех же солей натрия, что и при активации бентонитовых глин, но предпочтительнее — до 5 % триполифосфата натрия или гексаметафосфата натрия. В результате происходит замена в диффузионном слое глинистых частиц многовалентных ионов Ca, Mg, Fe и Al одновалентным ионом Na. На прочность смесей во влажном состоянии химические активаторы практически не влияют, а прочность смесей в высушенном состоянии увеличивается в 1,5—4 раза в зависимости от месторождения глины и активатора.

3.3.3. Способы введения глин в формовочную смесь

Применяют два способа введения огнеупорных глин и бентонитов в формовочную смесь: в порошкообразном состоянии и в виде водной суспензии.

Наибольшее распространение имеет первый вариант, хотя в случае применения суспензии достигаются определенные преимущества:

- сокращается время приготовления смеси в бегунах;
- повышается связующая способность глин вследствие набухания и их диспергирования в суспензии;
- улучшаются условия труда из-за отсутствия запыленности;
- упрощается дозирование при введении в состав суспензии угля и других добавок.

В то же время в случае использования суспензии возникает необходимость приготовления высококонцентрированных суспензий, которые образуют высоковязкие структуры. Это, в свою очередь, не позволяет осуществлять перекачку суспензий по трубопроводам — возникают трудности при остановках потока суспензий.

При использовании низкоконцентрированных суспензий (10...12 % глины) возникает опасность переувлажнения смесей.

Использование понизителей вязкости суспензий в виде поверхностно-активных веществ (ПАВ) пока не решило полностью названные проблемы, поскольку при применении ПАВ наблюдается пенообразование в суспензии.

3.3.4. Специальные добавки в песчано-глинистые смеси

К специальным добавкам в песчано-глинистые смеси относятся следующие:

- противопригарные добавки (см. подразд. 3.5);
- добавки для стабилизации влажности песчано-бентонитовой смеси, улучшения ее пластичности и качества отпечатка;
- противоужиминные добавки;
- добавки для увеличения текучести смесей;
- добавки для увеличения податливости сухих смесей.

Для стабилизации влажности смесей при заливке по-сырому, улучшения пластичности и качества отпечатка используют крахмалит (модифицированный набухающий крахмал), экструзионные крахмалосодержащие реагенты, меляссу, злаковые добавки в виде порошков. Для чугунных отливок содержание таких добавок в смеси составляет 0,1...0,5 %, для стальных — 0,3...1,0 %.

Положительное действие крахмалита заключается в отборе на себя избытка влаги в смеси, так как избыточная влага снижает прочность смеси. При этом часто повышается прочность смеси в зоне конденсации, уменьшаются осыпаемость и склонность смеси к ужиминам. Самыми надежными способами предотвращения ужимин являются активирование бентонита, которое увеличивает прочность в зоне конденсации, а также введение в смесь выгорающих добавок (угля, крахмалита, древесной муки), асбестовой крошки и костры (отхода льняного производства) (см. гл. 15).

Для увеличения текучести смесей при заливке по-сырому и снижения вязкости глинистых суспензий применяют добавки ПАВ, например полифенольный лесохимический понизитель вязкости (ПФЛХ), углещелочной реагент (УЩР), ичеган и окзил — продукты переработки лигнина и лигносульфоната.

Для увеличения податливости сухих смесей (формовочных и стержневых) в них вводят древесные опилки или древесную муку до 5 мас. %.

3.3.5. Песчано-глинистые смеси

Песчано-глинистые смеси получили наибольшее распространение в литейном производстве при изготовлении литейных форм и стержней. На долю песчано-глинистых смесей приходится более 60 % объема всех формовочных смесей. Различают формовочные и

стержневые смеси; в свою очередь, формовочные смеси бывают едиными, облицовочными и наполнительными.

Единые смеси имеют одинаковые технологические свойства во всем объеме формы. Они применяются в машинной и, особенно, автоматизированной формовке при производстве мелких и средних отливок. Более экономичным является использование облицовочных и наполнительных смесей. Облицовочные смеси изготовляют из кондиционных формовочных материалов и применяют с целью экономии свежих формовочных материалов. Толщина слоя облицовки в зависимости от конкретных условий может составлять 20... 50 мм.

Для остальной части опоки используют наполнительную смесь, которая состоит из отработанной смеси, иногда подвергаемой освежению (см. с. 100).

В зависимости от вида заливаемого сплава различают смеси для чугунных, стальных отливок и отливок из цветных сплавов.

Требования к смесям для стального литья более высокие по огнеупорности, газопроницаемости, поскольку температура заливки стали составляет 1600... 1650 °С. Поэтому при их разработке используют более крупнозернистый песок с повышенной огнеупорностью, который способствует также повышению газопроницаемости смеси. Для чугунного литья смеси имеют более низкие показатели по огнеупорности и газопроницаемости, поскольку температура заливки форм чугуном ниже (1350... 1400 °С). Еще более низкие свойства смесей для цветных сплавов, поскольку температура заливки их значительно ниже, чем для чугуна и стали.

Смеси для заливки по-сырому. В массовом производстве отливок каолинитовые глины в единых формовочных смесях все чаще заменяются высококачественными бентонитовыми глинами. Удорожание, связанное с использованием этих смесей, компенсируется меньшим содержанием в смеси бентонитов по отношению к каолинитам, поскольку бентониты обладают большей удельной прочностью, чем каолиниты, а также уменьшением уровня влажности смесей, что очень важно для снижения их газотворности. Бентонитовые смеси обладают пониженной термической устойчивостью по сравнению с каолинитовыми, но достаточной для тонкостенных отливок. Более того, с использованием бентонитовых смесей повышаются точность и качество поверхности отливок.

В формовочных смесях для *стальных* отливок используют кварцевый песок марки $4K_3O_202$. Для мелких отливок средний размер зерна может быть снижен до 0,16 мм, тогда как при производстве крупных отливок его увеличивают до 0,3 мм. Это связано с необходимостью повысить огнеупорность смесей и их газопроницаемость. Для предупреждения образования трещин в отливках в состав смеси вводят древесные опилки, для повышения поверхностной прочности используют добавку сульфитно-дрожжевой браж-

ки, а для предотвращения пригара при массивном литье с применением сухих форм в смесь вводят до 20 % пылевидного кварца.

При производстве *чугунных* отливок используют пески марок $3К_4О_3016$, средний размер зерна в смеси в зависимости от массы отливок может быть 0,1 или 0,2 мм.

Состав и свойства песчано-глинистых формовочных смесей для чугунного и стального литья приведены в табл. 3.16, 3.17.

Для производства отливок из цветных сплавов используют пески марок $2Т_201$. В отдельных случаях средний размер зерна увеличивают до 0,2 мм. В качестве противопригарной добавки при литье сплавов на основе меди в смесь вводят мазут, а при литье магниевых сплавов для защиты от окисления используют барий, фтористую добавку или сульфитную серу.

Составы и свойства типичных песчано-глинистых смесей, предназначенных для цветного литья приведены в табл. 3.18.

Смеси для заливки по-сухому. Для упрочнения песчано-глинистых смесей формы и стержни сушат (см. подразд. 5.2). Сухие формы используются для изготовления крупных стальных и чугунных отливок. Для улучшения чистоты поверхности отливок в смеси вводят противопригарные добавки (кокс, древесный пек, шамот и т.д.), а формы окрашивают противопригарными красками. Податливость смесей регулируется добавками опилок и асбестовой крошки. В условиях дефицита высокосортных огнеупорных глин при изготовлении крупных отливок (массой более 5 т) целесообразно вводить в смесь одновременно глину и бентонит в соотношении 1:1. Для менее крупных отливок соотношение бентонита и глины может составлять 3:1. Тем самым при уменьшении на 20 % их содержания удается получать такую же прочность смеси, как и на одной глине или одном бентоните, с соответствующим понижением глиносодержания. Введение в смесь 0,5... 1,0 мас. % сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ) приводит к значительному увеличению прочности смеси в высушенном состоянии. При этом совмещение СДБ только с глиной более эффективно, чем совмещение СДБ только с бентонитом: прочность смесей по первому варианту примерно в два раза выше, чем по второму.

Типовые составы для форм чугунных и стальных отливок, заливаемых по-сухому, представлены в табл. 3.19.

Приготовление и стабилизация единых формовочных смесей. Технологический процесс приготовления единых формовочных смесей включает подготовку исходных (свежих) материалов, подготовку (регенерацию) отработанной смеси, которая является основной составляющей смеси, и смешивание этих материалов с добавлением воды. Все оборудование для реализации технологического процесса приготовления единых формовочных смесей часто объединяется в смесеприготовительную систему, а отделение литейного цеха называется «смесеприготовительным».

Таблица 3.16. **Типовые песчано-бентонитовые смеси, применяемые для формовки по-сырому при изготовлении чугунных отливок**

Смесь; способ формообразования	Отливки	Состав формовочной смеси, мас. %					Физико-механические и технологические свойства смесей					
		Оборотная смесь	Кварцевый песок	Бентонит	Молотый уголь или его заменители	Добавки	Прочность при сжатии, Н/мм²	Влагосодержание, %	Газопроницаемость, ед.	Общее содержание мелочи, %	Содержание активного бентонита, %	Потери при прокаливании (п.п.п.), %
Единая; для автоматических пескодувно-прессовых линий безопочной формовки типа «DISA»	Мелкие	93...98	2,5...6,0	0,2...1,0	0,1...1,0	0,02...0,06 крахмалистые	0,17...0,21	3,2...4,0	100	11...13	7...8	3,5...5,0
Единая; для машинной формовки встряхиванием с подпрессовкой	Мелкие и средние	93...94	5,0...6,0	0,5...1,0	Пек 0,5...1,0	—	0,05...0,07	3,5...4,5	100	8...10	4,0...5,5	3,5...4,5

Таблица 3.17. **Типовые песчано-бентонитовые смеси, применяемые для формовки по-сырому при изготовлении стальных отливок**

Смесь; способ формообразования	Отливки	Состав формовочной смеси, мас. %				Физико-механические и технологические свойства смесей				
		Оборотная смесь	Кварцевый песок	Бентонит	Добавки	Прочность при сжатии, Н/мм²	Влагосодержание, %	Общее содержание мелочи, %	Содержание активного бентонита, %	Газопроницаемость, ед., не менее
Единая; для автоматических пескодувно-прессовых линий безопочной формовки типа «DISA»	Мелкие	92...95	5...8	1,2...2,0	0,05...0,10 крахмалистые	0,17...0,21	3,1...3,5	11,0...13,0	7,0...8,0	100
Единая; для машинной формовки встряхиванием с подпрессовкой	Мелкие и средние	88...92	5...7	2,5...4,0 бентонитовая суспензия	0,04...0,08 крахмалистые	0,05...0,07	3,5...5,0	8,0...10,0	4,5...5,5	120

Таблица 3.18. **Типовые составы песчано-глинистых формовочных смесей для цветного литья**

Назначение смеси	Состояние литейной формы	Содержание составляющих смеси, мас. %			Характеристика смеси					
		Оборотная смесь	Свежие материалы	Прочие добавки	Зерновая группа формовочного песка	Общее глиносодержание, %	Газопроницаемость, ед.	Влажность, %	Прочность, Н/мм²	
									на разрыв сухих образцов	на сжатие влажных образцов
Единая (для отливок из медных сплавов)	Влажная	92,0...88,5	7...10	Мазут (1,0...1,5)	01; 016	8...12	30	4,5...5,5	—	0,03...0,05
Облицовочная (для отливок из медных сплавов)	Влажная	80...40	18,5...59,0	Мазут (0,5...1,0)	01; 016	8...12	30	4,5...5,5	—	0,03...0,05
	Сухая	80...60	20...40	—	016	10...15	30	5,5...7,0	0,08...0,12	0,04...0,06
Облицовочная (для отливок из алюминиевых сплавов)	Влажная	80...60	20...40	—	01	8...12	20	4,0...5,0	—	0,03...0,05
	Сухая	80...60	19,5...39,0	КБЖ* (0,5...1,0)	01	8...12	20	5,0...6,0	0,07...0,12	0,04...0,06
Формовочная (для отливок из магниевых сплавов)	Влажная	95...85	5...15	Фтористая присадка (5,0...9,0)	01; 0063	—	20...40	5,0...6,5	—	0,06...0,115
		90...85	10...15	То же (4,0...8,0)	01; 0063	—	30...70	4,5...6,0	—	0,04...0,08
		90...85	10...15	То же (4,0...8,0), КБЖ (1,0...3,0)	01; 016; 02	—	30...70	4,5...6,0	—	0,04...0,08

* КБЖ — концентрат барды жидкой.

Таблица 3.19. **Типовые смеси для форм чугунных и стальных отливок, заливаемых по-сухому**

Смесь	Состав смеси, мас. %						Свойства смеси			
	Оборотная смесь	Кварцевый песок	Глина	Бентонит	Противопригарные добавки	Технологические добавки	Прочность при сжатии во влажном состоянии, Н/мм²	Газопроницаемость, ед., не менее	Влажность, мас. %	Прочность при разрыве в сухом состоянии, Н/мм²
Для крупных чугунных отливок	30...90	10...70	—	2...6	Уголь, кокс до 3, ДП*¹ до 1,5	Опилки до 5	0,04...0,06	30	4,5...7	0,10...0,20
	30...50	50...70	5...15	—	Уголь, кокс до 5, ДП до 3	Опилки 3...10, СДБ*² до 3	0,03...0,06	50	5...9	0,10...0,20
	40...70	30...60	4...7	2...4	Уголь, кокс до 4	Опилки, асбест 2...4, СДБ до 2	0,05...0,06	60	5...10	0,15...0,25
Для крупных стальных отливок	20...50	50...80	5...10	—	Асбестовая крошка 4...5	СДБ до 3	0,03...0,05	60	5...8	0,25...0,35
	40...60	40...60	4...7	2...4		СДБ до 2	0,05...0,06	60	5...7	0,25...0,35

*¹ ДП — древесный пек.
*² СДБ — сульфитно-дрожжевая бражка.

Подготовка исходных (свежих) материалов. Назначение исходных (свежих) материалов заключается в восстановлении свойств смеси после заливки металла и поддержании их на заданном уровне. К исходным материалам песчано-глинистых смесей, подготовку которых чаще всего выполняют в цехе, относят пески, глины (бентониты), каменноугольную пыль.

Подготовка *песка* в литейном цехе включает в себя сушку, охлаждение и просеивание. Температуру сушки определяют, исходя из содержания в песке глинистых составляющих. Для песков, в которых содержание глинистых составляющих более 10 %, температура сушки не должна превышать 250...300 °С. Пески с меньшим содержанием глинистой составляющей сушат при температуре 500 °С. Для сушки используют барабанные сушила или установки для сушки песка в кипящем слое.

После сушки формовочные пески с высоким содержанием глинистой составляющей (более 10 %) подвергают дроблению с целью измельчения комьев, используя оборудование, предназначенное для грубого дробления формовочных материалов. К данному виду оборудования относятся щековые, валковые, молотковые и роторные дробилки. Далее песок просеивают для отделения спекшихся комочков и мелких камней (гальки) в полигональных барабанных ситах или вибрационных установках (грохотах) с размером ячеек 3...5 мм.

Формовочную глину используют в виде порошка или суспензии. *Порошок глины* изготовляют следующим образом. Комовую глину сначала сушат в барабанных сушилках. Температура сушки обычной глины не должна превышать 200...250 °С, а бентонитовой — 150...180 °С. При более высоких температурах глина будет терять свою связующую способность. Размол глины обычно проводят в две стадии: грубое и тонкое дробление. Для тонкого дробления используют шаровые мельницы. Глину, которая прошла стадию грубого дробления, загружают в барабан вместе со стальными шарами. При вращении барабана шары размалывают глину, тонкие фракции которой проходят через решетчатые стенки и выходят наружу через разгрузочное окно. Крупные фракции глины, не прошедшие через решетчатые стенки барабана, специальными лопастями направляются в барабан для повторного дробления. С целью увеличения производительности шаровые мельницы оснащают специальными проточными сепараторами, которые улучшают процесс отделения недомолотой глины. Производительность шаровых мельниц составляет до 6...7 т/ч.

Для приготовления *суспензии* комовую глину замачивают в баках с водой при массовом соотношении 1:2 для обычных и 1:4 для бентонитовых глин. По истечении времени, достаточного для разбухания глины, ее размешивают в лопастном смесителе до получения однородной суспензии плотностью 1,2...1,3 г/см^3. Пре-

имуществом варианта использования глинистой суспензии является устранение операций сушки и размалывания, сопровождающихся обильным пылевыделением.

Каменноугольную пыль приготовляют в шаровых или молотковых мельницах. Тонкость помола угля должна соответствовать фракциям на ситах 005 и 0063, суммарное содержание которых должно составлять не менее 70 %. Для приготовления песчано-глинистых смесей, предназначенных для чугунного литья, используют глинисто-угольную суспензию, получаемую путем смешивания глинистой суспензии с каменноугольной пылью в пропорции по массе 2:1.

Подготовка отработанной формовочной смеси. Основной составляющей единых формовочных смесей является отработанная смесь. Иногда подготовку отработанной смеси называют «регенерацией смеси» (в отличие от «регенерации песка» — см. подразд. 3.6), что не точно отражает назначение подготовки.

Отработанная смесь после подготовки (регенерации) должна быть сыпучей и однородной, в ней должны отсутствовать металлические включения и знаковые части стержней, имеющие большую остаточную прочность. Влажность подготовленной смеси должна быть не более 1 % и температура не выше 35 °С.

На рис. 3.4 приведена технологическая схема подготовки отработанной песчано-глинистой смеси, которая поступает с выбивных решеток и предназначена для приготовления формовочной смеси на ее основе.

Из-под выбивной решетки *1* смесь поступает на ленточный конвейер *3* и далее, пройдя через магнитный сепаратор *2*, транспортируется в дезинтегратор *4*, где разрыхляется и передается на грохот *5* для отсева спекшихся комочков и знаковых частей стержней. Подготовленная таким образом смесь поступает в бункер *6*, а затем в гомогенизатор *7*. После увлажнения в гомогенизаторе смесь поступает в испарительно-охладительную установку *8* для доведения температуры и влажности смеси до требуемых норм. Далее по элеватору *9* смесь направляют в бункера *10* перед смесителем.

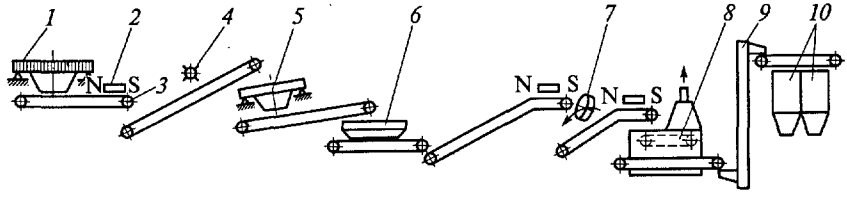


Рис. 3.4. Схема регенерации (подготовки) отработанных песчано-глинистых смесей:

1 — выбивная решетка; *2* — магнитный сепаратор (N, S — полюсы); *3* — ленточный конвейер; *4* — дезинтегратор; *5* — грохот; *6* — бункер; *7* — гомогенизатор; *8* — испарительно-охладительная установка; *9* — элеватор; *10* — бункера

Приготовление формовочных смесей. Назначение процесса приготовления формовочных смесей состоит, как уже отмечалось, в смешивании исходных (свежих) материалов, отработанной смеси и воды. В процессе смешивания каждая частица (зерно) песка обволакивается глинистой составляющей при однородном распределении воды и других составляющих смеси.

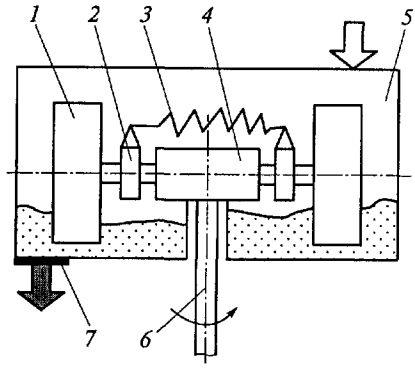


Рис. 3.5. Катковый смеситель с неподвижной чашей:

1 — каток; *2* — подвеска; *3* — пружина; *4* — траверса; *5* — чаша; *6* — приводной вал; *7* — разгрузочный люк

Процесс смешивания проводится в специальных машинах — смесителях. Наиболее распространенным и традиционно применяемым в литейном производстве является смеситель с неподвижной чашей и катками, вращающимися вокруг горизонтальных осей. Эти смесители (рис. 3.5) известны по названию выпускающей фирмы «Simpson». По центру чаши *5* через дно проходит приводной вал *6*, на котором размещена траверса *4*. Два катка *1* связаны с траверсой через подвески *2*, обеспечивающие перемещение катков *1* в вертикальном направлении в случае наезда катка на препятствие или подъема уровня смеси в ходе перемешивания. Прижатие катков к смеси обеспечивается взаимодействием подвески с пружиной *3*. Во многих случаях катки прижимаются к смеси под действием силы тяжести. Необходимый зазор между катком и дном чаши обеспечивается регулятором высоты. На траверсе расположены кронштейны, удерживающие плужки (на схеме не показаны), один из которых отбрасывает смесь от вертикального вала, другой — от стенки чаши. Оба плужка направляют смесь под катки.

Наиболее часто смесители используют для приготовления нормальных и высокопрочных песчано-глинистых смесей. Исходные компоненты при изготовлении смеси поступают в чашу сверху, как правило, из дозаторов. Готовая формовочная смесь разгружается через люк *7*, выполненный в дне чаши. Здесь и на всех последующих схемах загрузка показана светлой, а разгрузка — темной стрелками.

В результате длительного опыта эксплуатации этих смесителей установлено паспортное время цикла 120...180 с, которое подбирается в зависимости от частоты вращения вертикального вала. Следует отметить, что данный тип смесителя относится к тихоходным аппаратам, частота вращения вертикального вала лежит в

пределах 20...50 мин$^{-1}$. Меньшее значение соответствует бóльшим размерам аппарата, что вполне естественно, так как для вращения катков большой массы с высокой частотой требуется более высокая мощность. При работе смеситель оказывает двоякое воздействие на смесь, уплотняя ее катком и разрыхляя уплотненные объемы плужком. В процессе таких поочередных актов уплотнения и разрыхления зерна кварцевого песка перемещаются по траекториям сближения и удаления, при этом на частицах песка формируются глиняные оболочки.

Следует отметить, что сближение песчинок происходит и под действием плужков, однако усилие при их прижатии (а следовательно, и работа) меньше, чем при воздействии катком. В свою очередь, каток наряду с уплотнением оказывает как разрыхляющее воздействие на смесь, выдавливаемую из-под него, так и перетирающее воздействие в силу различия переносной и относительной скоростей его движения. Ближняя к приводному валу часть катка пробуксовывает, а удаленная проскальзывает (движение юзом). Относительное перемещение катка по смеси приводит к перетиранию компонентов смеси, в результате которого также формируются оболочки.

Традиционная конструкция каткового смесителя положена в основу смесителя со сдвоенной чашей. При этом образовавшаяся чаша и траектория движения смеси имеют форму «восьмерки» (рис. 3.6), что послужило основанием для одноименного названия и аппаратов. Как и традиционный катковый, сдвоенный смеситель — «восьмерка» состоит из чаши *6*, через дно которой проходят два вертикальных приводных вала *7*. Валы вращаются в противоположные стороны. На валах установлены траверсы *4*, к которым через подвески *2* прикреплены катки *1*. Плужки *5* смонтированы на траверсах *4*. Прижатие катков к смеси происходит под действием их собственного веса и дополнительного усилия, создаваемого пружиной *3*. Привод смесителя синхронизирован, что предотвращает поломку движущихся органов.

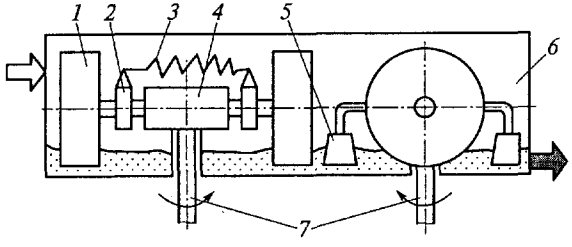


Рис. 3.6. Катковый смеситель со сдвоенной чашей типа «восьмерок»:

1 — каток; *2* — подвеска; *3* — пружина; *4* — траверса; *5* — плужок; *6* — сдвоенная чаша; *7* — приводные валы

Траектория движения смеси такова, что свежие объемы смеси, подаваемые на периферию первой половины чаши, постепенно перемещаются к центру второй половины, а затем, выйдя из нее, снова попадают на периферию первой. В результате многократных проходов радиус траектории в первой половине чаши уменьшается, а во второй — увеличивается, и смесь в конце цикла перемешивания движется в центре первой половины и по периферии второй, где организована ее разгрузка.

Смесители-«восьмерки», как правило, работают в непрерывном режиме и имеют наибольшую из всех смесителей производительность. Конструкция этих аппаратов позволяет реализовать в них также и периодический рабочий процесс. Настройка того или другого режима рабочего процесса зависит от взаимного положения наружных и внутренних скребков в обеих чашах. При непрерывном рабочем процессе скребки второй половины забирают из первой больше смеси, чем возвращают ее обратно, что создает направленный поток смеси в сторону второй половины. Баланс в этом случае достигается за счет выдачи смеси из второй половины и поступления свежих компонентов в первую. При периодическом режиме работы наружные скребки обеих половин забирают столько же смеси, сколько выводят ее за пределы половины внутренние.

Стремление интенсифицировать рабочий процесс в катковом смесителе привело к увеличению частоты вращения приводного вала и замене тяжелых металлических катков легкими обрезиненными (смеситель немецкой фирмы BMD и отечественный смеситель модели 15126).

Резиновый каток в сравнении с металлическим имеет увеличенную площадь контакта со смесью, при этом перетирающее воздействие катка на смесь усиливается, поскольку она оказывается прижатой эластичной шиной, имеющей высокий коэффициент трения со смесью. В этих условиях объемы смеси, прижатые к поверхности шины, деформируются вместе с ней вдоль ее поверхности.

Центробежные (рис. 3.7), или маятниковые, смесители имеют цилиндрическую чашу *2*, в центре которой проходит вертикальный вал *5*. На валу установлен ротор *4* в виде диска с размещенными на нем на кривошипах *3* двумя или тремя катками *1*. Оси кривошипов ориентированы вертикально, при этом катки вращаются в горизонтальной плоскости на разных уровнях и образуют зазор с боковой поверхностью чаши. По периферии ротора расположены плужки *6*, число которых соответствует числу катков.

Формовочные материалы загружаются в смеситель сверху, попадают на ротор и центробежной силой отбрасываются к периферии чаши в кольцевой зазор между ротором и боковой поверхностью чаши. Из зазора смесь подгребается плужками и в виде струи отбрасывается на боковую поверхность чаши, которая покрыта слоем резины. Катки и плужки установлены таким образом, что-

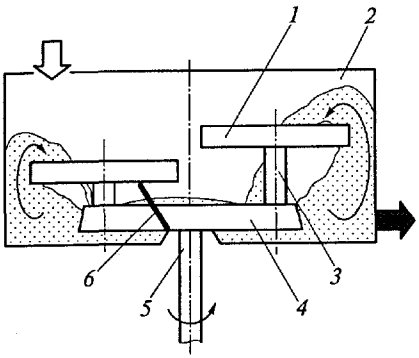


Рис. 3.7. Центробежный, или маятниковый, смеситель:

1 — каток; *2* — чаша; *3* — кривошип; *4* — ротор; *5* — приводной вал; *6* — плужок

бы при работе смесителя поток смеси направлялся в зазор между боковой поверхностью чаши и катком. При этом каток, прокатываясь по смеси, уплотняет ее.

Таким образом, как и в катковом смесителе, рабочий процесс включает в себя акты уплотнения и разрыхления смеси. Однако главенствующую роль играет процесс, происходящий при торможении потока смеси о боковую поверхность чаши. Торможение смеси происходит послойно: тормозится слой, контактирующий с боковой поверхностью чаши, тогда как удаленный от нее слой продолжает движение. Скорости слоев будут тем больше, чем дальше они находятся от поверхности чаши. При этом в смеси происходят относительное перемещение слоев и перетирание смеси. Доказана главенствующая роль процесса перетирания. Как показал И. З. Зорохович, качество смеси, приготовленной в смесителе со снятыми катками, не ухудшается. В центробежных смесителях рабочий процесс сопровождается переводом смеси в псевдоожиженное состояние, при этом увеличивается роль динамического воздействия песчинок. В рабочем цикле смесь не только подбрасывается плужками, но и продувается воздухом, оба эти процесса формируют псевдоожиженное состояние смеси. Для продувки воздухом в роторе выполнены радиальные каналы, связанные с воздуходувкой. Продувка вызывает также испарение влаги и охлаждение смеси, а также приводит к уносу мелких частичек, в том числе и частиц активной глины. Чтобы предотвратить нежелательный унос активной глины, целесообразно применять ее в виде суспензии. Цикл смесеприготовления в центробежных смесителях короче, чем в катковых, и составляет 60...120 с. Этого времени оказывается вполне достаточно для равномерного распределения компонентов смеси по ее объему, однако оно может оказаться недостаточным для формирования оболочек на частицах песка.

Определенный интерес для приготовления песчано-глинистых смесей представляют б е с к а т к о в ы е, или вихревые, смесители (рис. 3.8). Эти смесители имеют цилиндрическую чашу *1* с проходящим в центре приводным вертикальным валом *3*, на котором установлен S-образный скребок *2* с наклонной пластиной *4* на конце. В некоторых модификациях смесителей скребок

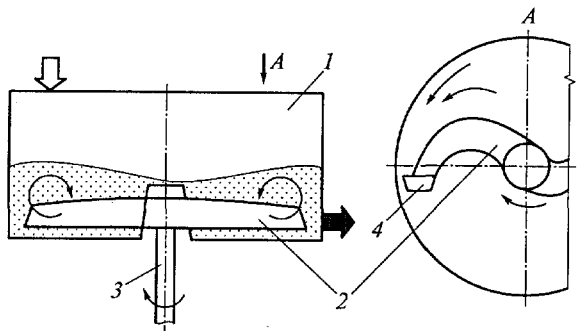


Рис. 3.8. Бескатковый, или вихревой, смеситель:
1 — чаша; *2* — S-образный скребок; *3* — приводной вал; *4* — наклонная пластина

имеет три искривленные части, что увеличивает число актов воздействия на смесь за один оборот приводного вала. Рабочий процесс в таком смесителе в значительной степени зависит от частоты вращения скребка. При небольшой частоте вращения рабочий процесс близок к катковому и состоит в поочередном уплотнении и разрыхлении смеси, что достигается за счет конструкции скребка. Стрелками на виде *А* (см. рис. 3.8) показана траектория движения смеси. Видно, что смесь придавливается к стенке чаши скребком и при этом уплотняется. Около стенки чаши смесь подхватывается наклонной пластиной *4* и перебрасывается через скребок, при этом она падает под углом естественного откоса на свободное место за скребком. При вращении вала с увеличенной частотой рабочий процесс в смесителе похож на центробежный. Попав на пластину *4*, смесь подбрасывается и попадает на стенку чаши, далее смесь ведет себя как в центробежном смесителе.

Бескатковые смесители чаще применяются для приготовления стержневых смесей с жидкими связующими, однако известны примеры их успешного использования для приготовления песчано-глинистых смесей. Время рабочего цикла в таких аппаратах 3...6 мин в соответствии с длительностью процесса обволакивания.

В начале 1970-х гг. швейцарская фирма «G. Fischer» (+GF+) и немецкая «Eirich» начали независимый выпуск бескатковых роторных смесителей (рис. 3.9), которые имеют общие конструктивные черты. По сравнению с катковыми, чаша *3* бескаткового смесителя имеет большую высоту по отношению к диаметру. Чаша опирается на подшипник *6* и связана с приводом, обеспечивающим ее вращение. Внутри чаши на вертикальном валу *1* размещен ротор *7* с множеством радиально ориентированных ло-

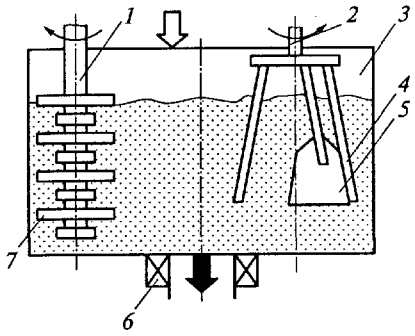


Рис. 3.9. Роторный смеситель:

1 — вал ротора; *2* — вал мешалки; *3* — чаша; *4* — мешалка; *5* — скребок; *6* — подшипник; *7* — ротор

пастей. Ротор имеет самостоятельный привод, обеспечивающий его вращение с частотой до 1000 мин$^{-1}$. На другом вертикальному валу *2* размещены скребки *5* и мешалки *4*, вращающиеся с меньшей, чем ротор частотой. Смесители указанных фирм не имеют принципиальных конструктивных различий. В смесителе фирмы «G. Fischer» вращается не вся чаша, а только ее дно, и этого вполне достаточно для приведения во вращение всей смеси, находящейся в чаше. Скребок в этом смесителе связан с неподвижной рамой и очищает только днище; стенки чаши очищаются вращающейся смесью. Время цикла в роторных смесителях зависит от требований, предъявляемых к приготовляемой смеси и составляет 30...120 с. Нижний предел времени цикла (30 с) указывает на высокую интенсивность процесса перемешивания, однако этого времени достаточно, по крайней мере, для равномерного распределения компонентов смеси в ее объеме.

Анализ рабочего процесса в роторном смесителе показал, что в объеме чаши можно выделить три зоны: разгона, полета и покоя. Зона р а з г о н а соответствует периферийной части ротора, здесь смесь захватывается лопастью, разгоняется, перемещаясь по ее поверхности, и выбрасывается за пределы лопасти. В зоне п о л е т а движение частичек смеси происходит веером. В зоне п о к о я смесь не перемещается относительно чаши. Динамическое воздействие смесь испытывает в зоне разгона и в момент остановки на границе зон полета и покоя. Динамическое воздействие проявляется в том, что под действием инерционных сил песчинки входят в контакт с увлажненной глиной, из которой формируются оболочки. За счет высоких вязкостных свойств водоглинистая паста оказывает большее сопротивление динамическим нагрузкам в сравнении со статическими, в результате она уплотняет слабо, т.е. при роторном способе формируются рыхлые глинистые оболочки.

На рис. 3.10 в порядке убывания приведены значения времени рабочего цикла рассмотренных выше смесителей. Продолжительность цикла смешивания подобрана для всех смесителей опытным путем. Дальнейшее увеличение времени цикла нецелесообразно, так как дополнительное перемешивание не приводит к существенному улучшению свойств смеси, но, в то же время, это дополнительный расход энергии и, как результат, снижение про-

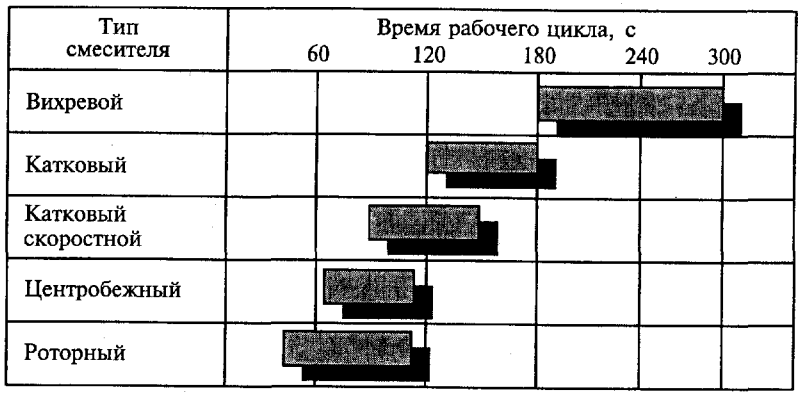


Рис. 3.10. Время рабочего цикла различных смесителей

изводительности. В то же время уменьшение времени цикла недопустимо, так как степень готовности смеси будет недостаточной. Таким образом, время цикла является характеристикой технологического процесса.

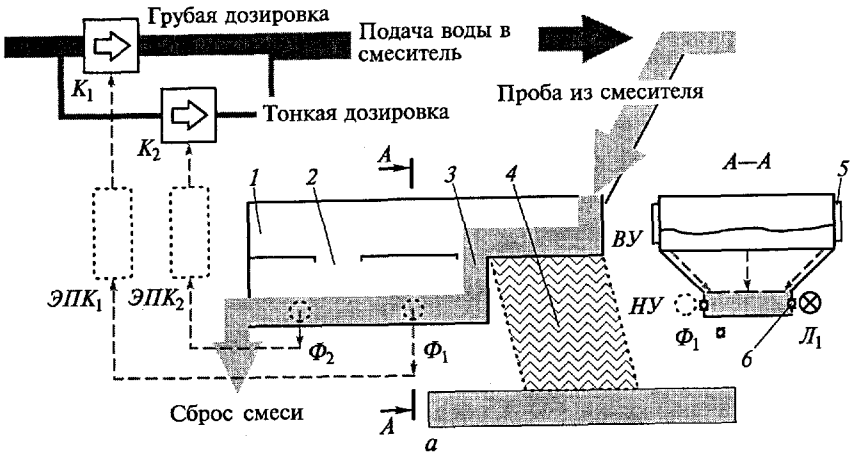
Наиболее интенсивным является рабочий процесс в роторном смесителе. Если принять время цикла катковых смесителей за исходное, то использование только плужков для приготовления смеси не позволяет интенсифицировать процесс перемешивания. Это достигается при увеличении скорости движения этих же плужков (центробежный смеситель) или при использовании быстроходных мешалок и роторов, обеспечивающих динамическое взаимодействие песчинок с глиняной пастой в процессе приготовления смеси.

Анализ технологических процессов и работы оборудования показывает, что в смесеприготовлении наблюдается постепенная тенденция к переходу от тихоходных к скоростным смесителям. При этом меняются технология смесеприготовления и свойства глиняных оболочек.

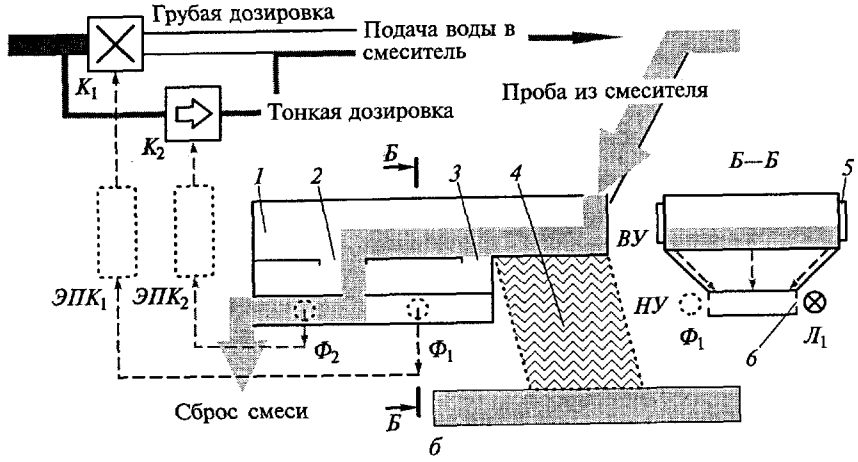
Автоматизированные смесеприготовительные системы. Смесеприготовительные системы в современных цехах, оснащенных автоматизированными формовочными линиями, также являются автоматизированными.

В автоматизированных смесеприготовительных системах предусмотрен автоматизированный контроль влажности в смесителях по индексу формуемости с использованием специального прибора «*Moldability controller*», называемого в литейных цехах «трясучкой». Схема прибора и стадии его работы показаны на рис. 3.11.

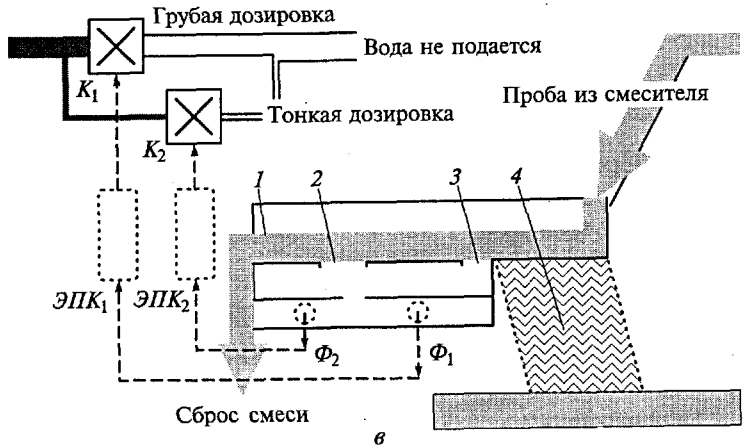
Прибор представляет собой двухуровневый лоток *1*, смонтированный на вибраторе *4*. Лоток верхнего уровня (*ВУ*) имеет две поперечные щели: широкую *2* и узкую *3*. По длине лотка нижнего уровня (*НУ*) установлены два фотоэлемента Φ_1 и Φ_2, напротив


Грубая дозировка
Подача воды в смеситель
Проба из смесителя
K_1
Тонкая дозировка
K_2
A
A—A
1
2
3
4
5
ВУ
НУ
$ЭПК_1$
$ЭПК_2$
$Ф_2$
$Ф_1$
$Л_1$
6
Сброс смеси
A

а


Грубая дозировка
Подача воды в смеситель
Проба из смесителя
K_1
Тонкая дозировка
K_2
Б
Б—Б
1
2
3
4
5
ВУ
НУ
$ЭПК_1$
$ЭПК_2$
$Ф_2$
$Ф_1$
$Л_1$
6
Сброс смеси
Б

б


Грубая дозировка
Вода не подается
Проба из смесителя
K_1
Тонкая дозировка
K_2
1
2
3
4
$ЭПК_1$
$ЭПК_2$
$Ф_2$
$Ф_1$
Сброс смеси

в

каждого из них расположены осветители $Л_1$ и $Л_2$ (не показан на схеме). В боковой стенке лотка нижнего уровня, напротив осветителей и фотоэлементов, выполнены отверстия *6* диаметром 6 мм. Сечение лотка нижнего уровня (*НУ*) подобрано таким образом, чтобы поток поступающей в него смеси закрывал отверстия *6*. Фотоэлементы связаны через реле и электропневматические клапаны $ЭПК_1$ и $ЭПК_2$ с клапанами подачи воды грубой K_1 и тонкой K_2 дозировки. Для обеспечения стабильного температурного режима лоток, выполненный из листового алюминия, снабжен нагревателями *5*, которые расположены вдоль стенок лотка верхнего уровня (*ВУ*).

При работе системы на лоток *ВУ* из смесителя с помощью спирального пробоотборника подается формовочная смесь. В начале цикла смешивания (рис. 3.11, *а*) на лоток поступает сухая смесь, частички которой плохо слипаются, а сама смесь хорошо просыпается в узкую щель *3*. По мере увлажнения смеси связанность ее частиц возрастает, образуются так называемые «мостики», которые позволяют потоку, идущему по лотку *ВУ*, преодолевать узкую щель *3*, но проваливаться в широкую *2* (рис. 3.11, *б*). При дальнейшем повышении влажности поток в состоянии преодолевать и широкую щель *2* (рис. 3.11, *в*).

Ширину щелей настраивают таким образом, чтобы формовочная смесь при исходной влажности входящей в нее отработанной смеси просыпалась в узкую щель, а при нормальной влажности — в широкую. При максимальной влажности смесь должна проходить по лотку верхнего уровня, не проваливаясь в щели. Таким образом, в зависимости от влажности смесь движется по лотку по трем различным траекториям:

- при исходной влажности — через малую щель по лотку нижнего уровня, перекрывая фотоэлементы $Ф_1$ и $Ф_2$ (см. рис. 3.11, *а*);
- при нормальной влажности — через большую щель по лотку нижнего уровня, перекрывая фотоэлемент $Ф_2$, а $Ф_1$ освещен (см. рис. 3.11, *б*);
- при максимальной влажности — по лотку верхнего уровня на сброс, фотоэлементы $Ф_1$ и $Ф_2$ освещены (см. рис. 3.11, *в*).

В зависимости от того, перекрыты потоком смеси фотоэлементы или не перекрыты, автоматическая система управляет подачей воды в смеситель. При исходной влажности оба фотоэлемента перекрыты и клапаны K_1 и K_2 открыты, т.е. в смеситель поступает

Рис. 3.11. Схема прибора «*Moldability controller*» и стадии (*а*—*в*) его работы:

1 — двухуровневый лоток; *2* и *3* — соответственно широкая и узкая щели; *4* — вибратор; *5* — нагреватель; *6* — отверстие; K_1 и K_2 — клапаны подачи воды; $ЭПК_1$ и $ЭПК_2$ — электропневматические клапаны; *ВУ* — верхний уровень; *НУ* — нижний уровень; $Л_1$ — осветитель; $Ф_1$ и $Ф_2$ — фотоэлементы

вода с максимальным расходом (грубая дозировка). При достижении смесью нормальной влажности освещен только фотоэлемент Φ_1, сигнал от него через $ЭПК_1$ закрывает клапан K_1, и вода в смеситель поступает с минимальным расходом (тонкая дозировка). При достижении смесью максимальной влажности освещены фотоэлементы Φ_1 и Φ_2, т.е. клапаны K_1 и K_2 при этом перекрыты и подача воды в смеситель прекращена.

Назначение и расчет освежения формовочной смеси. В процессе повторяющихся заливок металла компоненты смеси в зоне небольшого расстояния от тела отливки сильно изменяют свои исходные свойства (теряют активность).

Бентонит при температуре выше 350...700 °С теряет конституционную воду и свою связующую способность. Каменный уголь и другие органические добавки претерпевают термодеструкцию. Кроме того, в смеси накапливаются неактивные глина и мелочь, содержание которой по норме не должно превышать 10...15 %. Поэтому для поддержания физико-механических свойств на заданном уровне смесь необходимо обновлять, вводить в нее свежие материалы и удалять накапливающуюся мелочь.

Для определения расхода вводимых свежих добавок можно воспользоваться расчетом из работы [50].

Расчет освежения. Делается допущение, что масса смеси, в которой i-й компонент потерял активность, пропорциональна массе залитого металла (рис. 3.12):

$$q_i = K_i m_ф, \tag{3.1}$$

где q_i — масса смеси, в которой произошла полная потеря активности i-й добавки; $m_ф$ — металлоемкость формы; K_i — коэффициент, зависящий от термохимических свойств формы и температуры заливки металла.

Примем также, что исходное содержание i-й активной добавки равно A_i, тогда освежение по i-й добавке составит, %:

$$\Delta_i = A_i q_i / m_{см}, \tag{3.2}$$

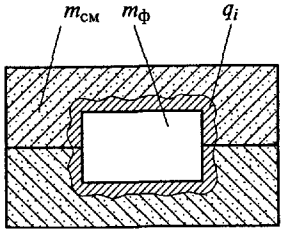


Рис. 3.12. Эскиз для расчета освежения формовочной смеси

где $m_{см}$ — масса смеси в форме.

Подставляя в уравнение (3.2) значение q_i из уравнения (3.1), окончательно получим

$$\Delta_i = A_i K_i \, m_ф / m_{см}. \tag{3.3}$$

Коэффициент K_i для разных компонентов смеси определяют экспериментально. В первом приближении при расчетах можно использовать: для бентонита $K_б = 0{,}5$; для угля $K_у = 1$; для крахмалита $K_к = 1{,}70$.

Важным параметром, который должен учитываться при распределении отливок по конвейерам и при расчете освежения, является соотношение массы залитого в форму металла $m_ф$ и формовочной смеси в форме $m_{см}$, называемое обычно «соотношением металл — форма».

Наиболее часто в производстве используется соотношение, составляющее $m_ф/m_{см} = 1/7 ... 1/10$ и более. При меньших его значениях возрастают затраты на переработку отработанной смеси, а при больших — расход освежения по компонентам.

Описанный выше расчет выполнен применительно к бесстержневым отливкам. При использовании стержней расход освежения по компонентам уменьшается, поскольку произойдет перераспределение отводимой через форму теплоты, часть теплоты будут аккумулировать стержни. Для учета влияния стержней можно использовать уравнение

$$\Delta_i = A_i K_i m_ф (m_{см} + m_{ст}), \qquad (3.4)$$

где $m_{ст}$ — масса стержней.

При определении коэффициента K_i не учитывались колебания температуры заливки металла и влажности формовочной смеси, от которых зависит прогрев формы.

В работе [50] сделана попытка оценить эти факторы расчетным путем для плоской отливки, залитой при температуре $T_{зал}$ в полубесконечную форму.

Расчетная схема приведена на рис. 3.13. Глубина x прогрева сухой формы до заданной температуры T_2 определится из выражения

$$x = h(\tau)\sqrt{\frac{T_2 - T_ф}{T_1 - T_ф}}, \qquad (3.5)$$

где $h(\tau)$ — глубина прогрева формы до температуры T_2; $T_ф$ — начальная температура формы; T_1 — температура отливки, причем рассматривается охлаждение отливки после затвердевания, т.е. $T_1 < T_{кр}$ (температуры кристаллизации).

Зависимость $x = f(T_1)$ (рис. 3.14) для каждой заданной температуры T_2 будет иметь максимум при T_1^*. При расчете освежения необходимо найти x_{max} и T_1^* из условия $\dfrac{dx}{dT_1} = 0$.

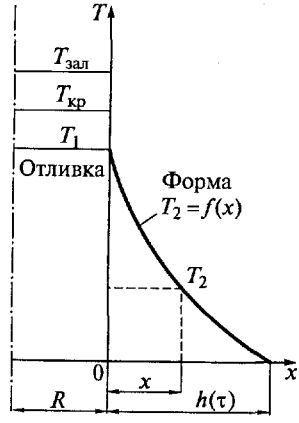


Рис. 3.13. Расчетная кривая прогрева полубесконечной формы при заливке плоской плитки (R — приведенный размер отливки)

Сначала выразим $h(\tau) = f(T_1)$. Для этого используем следующие зависимости [3]:

$$h(\tau) = \sqrt{2n(n+1)a_2\tau}$$

и

$$\tau = \left[\frac{c_1'\rho_1'V_1(T_{зал} - T_{кр}) + L_1\rho_1V_1 + c_1\rho_1V_1(T_{кр} - T_ф) - c_1\rho_1V_1(T_1 - T_ф)}{\sqrt{\frac{2n}{n+1}}b_2F(T_1 - T_ф)}\right]^2, \quad (3.6)$$

где τ — время охлаждения отливки до температуры T_1; a_2 — коэффициент температуропроводности; $n = 2$ — показатель параболы, описывающей кривую температур в форме; c_1' и ρ_1', c_1 и ρ_1 — соответственно теплоемкость и плотность жидкого металла, теплоемкость и плотность твердого металла; L_1 — теплота кристаллизации; $T_{зал}$, $T_{кр}$ — соответственно температуры заливки и кристаллизации металла; V_1 — объем отливки; b_2 — коэффициент теплоаккумуляции формы; F — поверхность контакта металла и формы.

Подставив значения $h(\tau)$ и τ из уравнений (3.6) в уравнение (3.5) и проведя преобразования, получим выражение для глубины прогрева сухой формы

$$x = 3R\frac{c_1\rho_1}{c_2\rho_2}\left(\frac{A}{T_1 - T_ф} - 1\right)\left(1 - \sqrt{\frac{T_2 - T_ф}{T_1 - T_ф}}\right), \quad (3.7)$$

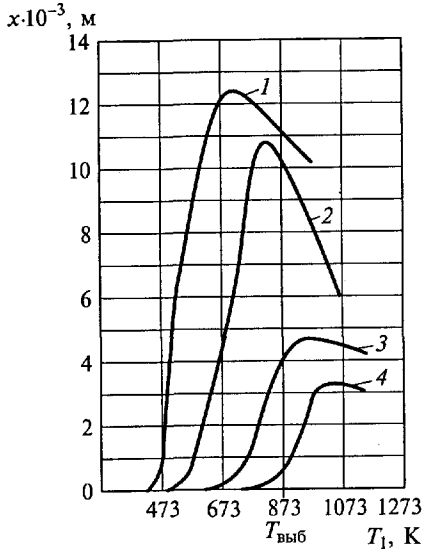


Рис. 3.14. Зависимость от температуры выбивки $T_{выб}$ глубинного прогрева формы до температур T_2, К:

1 — 473; *2* — 573; *3* — 673; *4* — 773; x, T_1 — толщина и температура отливки

где $R = \frac{V}{F}$ — приведенный размер отливки; c_2, ρ_2 — соответственно теплоемкость и плотность формы;

$$A = \frac{c_1'\rho_1'}{c_2\rho_2}(T_{зал} - T_{кр}) + \frac{L_1}{c_1} + (T_{кр} - T_ф). \quad (3.8)$$

Значения x и R можно выразить через массу q_1 смеси, прогретой до температуры T_2, массу отливки m_o и площадь F ее поверхности:

$$x = \frac{q_i}{2F\rho_2}; \; R = \frac{m_o}{F\rho_1}. \quad (3.9)$$

После подстановки выражений для x и R в уравнение (3.7) получим

$$q_i = 6m_o \frac{c_1}{c_2}\left(\frac{A}{T_1 - T_{ср}} - 1\right)\left(1 - \sqrt{\frac{T_2 - T_ф}{T_1 - T_ф}}\right). \qquad (3.10)$$

Уравнение (3.10) подтверждает принятое в работе [50] допущение о пропорциональности q_i и m_o.

Дифференцируя уравнение (3.7) и приравнивая $\frac{dx}{dT_1} = 0$, находим

$$Q_2 = \frac{T_1 - T_ф}{A} = \frac{1}{Q_1}\left(1 + \sqrt{1 + 3Q_1}\right)^2, \qquad (3.11)$$

где $Q_1 = \frac{T_2 - T_ф}{A}$.

Совместное решение уравнений (3.10) и (3.11) приводит к выражению

$$\frac{q_i}{m_o}\frac{c_2}{c_1} = \frac{6Q_1}{\left(-1 + \sqrt{1 + 3Q_1}\right)^2}\left(1 - \frac{Q_1}{-1 + \sqrt{1 + 3Q_1}}\right). \qquad (3.12)$$

Для сырой формы с влажностью W, %, в уравнениях (3.10)—(3.12) необходимо вместо T_2 подставлять $T_2 - \Delta T$. Величина ΔT является поправкой на нагрев смеси исходной влажности до 100 °С и на ее испарение и определяется из выражения

$$\Delta T = \frac{2265 \cdot 10^3 W}{(100 - W)c_2}. \qquad (3.13)$$

При выводе уравнения (3.13) для воды приняты следующие данные: теплота парообразования L = 2261 кДж/кг, температура испарения $T_{кип}$ = 373 К, теплоемкость $c_в$ = 4186,8 Дж/(кг·К), температура формы $T_ф$ = 293 К.

На рис. 3.14 приведены кривые $x = f(T_1)$ для значений T_2, равных 473, 573, 673, 773 К (соответственно кривые *1*, *2*, *3*, *4*) и нанесена температура выбивки $T_{выб}$ чугунных отливок, принятая равной 873 К. При расчетах принимали:

$$c_1' = 838;\ c_1 = 670;\ c_2 = 1670 \text{ Дж/(кг·К)};$$
$$\rho_1' = 6950;\quad \rho_1 = 7200;\quad \rho_2 = 1550 \text{ кг/м}^3;\quad L = 215 \text{ кДж/кг};$$
$$T_{кр} = 1443 \text{ К};\ T_{зал\ max} = 1668 \text{ К};\ T_{зал\ min} = 1578 \text{ К};$$
$$W_{max} = 4{,}8\ \%;\ W_{min} = 3{,}2\ \%.$$

Колебания температуры заливки и влажности были определены путем статистической обработки данных по контролю этих па-

Таблица 3.20. **Результаты расчетов расхода освежения**

Температура прогрева формы T_2, К	Температура заливки $T_{зал}$, К								Колебания значений q_i/m_o относительно среднеарифметического значения	
	1578				1663				абсолютные	относительные, %
	Влажность, %									
	3,2		4,8		3,2		4,8			
	q_i/m_o	T_1^*	q_i/m_o	T_1^*	q_i/m_o	T_1^*	q_i/m_o	T_1^*		
473	1,94	463	1,75	514	2,11	472	1,88	517	0,36	18,7
573	1,27	616	1,11	667	1,41	626	1,27	671	0,30	23,7
673	0,83	752	0,73	786	0,94	761	0,82	797	0,21	25,3
773	0,56	871	0,52	896	0,64	879	0,59	906	0,12	20,8

Примечание. q_i/m_o — отношение массы смеси к массе отливки; T_1^* — максимальное значение температуры отливки.

раметров в литейном цехе АМО «ЗИЛ». Пределы колебаний приняты равными шести среднеквадратическим отклонениям.

На рис. 3.14 видно, что для $T_2 > 573$ К $T_1^* > T_{выб} = 873$ К. Поэтому при расчетах освежения по компонентам, температура потери активности которых выше 573 К (бентонит, каменноугольная пыль), необходимо находить x_{max} и использовать уравнение (3.12). Для других компонентов, у которых $T_2 < 573$ К и $T_1^* < T_{выб}$, как, например, у крахмалита, прогрев не достигает x_{max}, поскольку отливка выбивается раньше. Поэтому, если $T_2 < 573$ К, при расчетах расхода освежения необходимо пользоваться уравнением (3.10) при $T_1 = T_{выб}$.

Были проведены расчеты колебаний коэффициента K_i при колебаниях температуры заливки (1578...1663 К) и влажности смеси (3,2...4,8 %). Из результатов расчетов, приведенных в табл. 3.20, следует, что колебания температуры заливки и влажности смеси существенно изменяют отношение q_i/m_o, а следовательно, и расход освежения, что необходимо учитывать при расчетах освежения. Полученные данные можно использовать при назначении точности дозирования освежающих добавок. Они должны быть не выше найденных колебаний, поскольку точнее дозировать не имеет смысла. Точнее дозировать можно только при более высокой технологической дисциплине (меньших колебаниях параметров, в том числе $T_{зал}$ и W).

Сравнение величин соотношения q_i/m_o, полученных расчетным путем и экспериментально, показывает, что за среднюю температуру потери активности можно принимать значение 500 °С для бентонита, 350 °С для каменноугольной пыли и 250 °С для крахмалита. Эти данные соответствуют общепринятым значениям.

Таблица 3.21. **Рекомендуемый расход освежения смеси по песку и бентониту для разных отливок**

Соотношение металл — форма	Расход освежения, %, для приведенной толщины отливки, мм							
	8		10		15		20	
	Песок	Бентонит	Песок	Бентонит	Песок	Бентонит	Песок	Бентонит
1/3	2,24	0,44	2,79	0,50	3,70	0,66	4,57	0,82
1/5	1,46	0,26	1,68	0,30	2,22	0,39	2,74	0,49
1/8	0,93	0,16	1,06	0,19	1,39	0,25	1,71	0,31
1/10	0,73	0,13	0,84	0,15	1,00	0,20	1,37	0,25
1/12	0,61	0,11	0,70	0,12	0,92	0,16	1,14	0,20
1/15	0,49	0,09	0,56	0,10	0,74	0,13	0,92	0,16

Стабилизация состава и свойств песчано-глинистых формовочных смесей. По данным исследований [24] 45...55 % потерь от брака отливок обусловлено колебаниями состава и, соответственно, свойств формовочных смесей. Различия в свойствах смесей на 10...20 % связаны с неточностью дозирования и неудовлетворительной работой смесеприготовительного оборудования, на 20...25 % — с колебаниями свойств исходных материалов и на 40...60 % — с нестабильностью состава отработанной формовочной смеси за счет различий в термической «нагрузке» при изготовлении отливок.

Для уменьшения данных потерь некоторые специалисты предлагают при многономенклатурном производстве группировать отливки таким образом, чтобы обеспечивалось соотношение металл — форма, несущественно отличающееся от среднего на данной линии. В данном случае степень освежения можно практически не изменять.

Для осуществления такого режима стабилизации смеси рекомендуется предварительно определить для каждой отливки степень освежения по песку, бентониту и др. Результаты выполненных определений приведены в табл. 3.21. При этом учитывалось влияние температуры заливки и глубины прогрева формы, толщины стенок отливки и других технологических факторов. Естественно, полученные рекомендации применимы лишь для той номенклатуры отливок, для которой были проведены соответствующие эксперименты.

Пример подобного процесса стабилизации смеси в литейном цехе приведен в работе [24], где использован термин «превентивное (предупреждающее) регулирование». При этом отмечается, что в процессе смесеприготовления приходится решать задачи, связанные с уменьшением колебаний технологических свойств смесей (уплотняемости, насыпной массы) относительно заданного (среднего) уровня и поддержания требуемого уровня (постоянства) прочностных свойств смеси.

Таблица 3.22. **Группирование отливок по массе**

Предельные массы отливок, кг	Средняя масса отливок, кг	Соотношение* металл — смесь	Расход освежения по бентониту при 8 % его активного содержания в смеси, %	Доля вводимого в смесь премикса, %
До 66	50	1 : 14 (0,07)	0,25	2,4
Свыше 66 до 91	75	1 : 9 (0,106)	0,35	3,25
Свыше 91 до 121	100	1 : 7 (0,14)	0,44	4,15
Свыше 121 до 156	130	1 : 5,5 (0,18)	0,55	5,25

* В скобках — численная величина отношения (частное от деления).

Первая задача решается путем постоянного контроля свойств смеси в лаборатории и использования приборов для контроля и регулирования влажности смеси в бегунах, например, по индексу формуемости системы Г. Диттерта. Решение второй задачи связано, во-первых, с группированием изготовляемых отливок, желательно за смену, по близким значениям соотношения металл — смесь, а также по известному и близкому к среднему количеству попадающих в смесь стержневых остатков; во-вторых, с предварительным расчетом по эмпирическим формулам расхода освежения по бентониту с последующей ее корректировкой в производственных условиях; в-третьих, с использованием премикса (предварительно приготовленной смеси) из бентонита, угольного порошка, части отработанной смеси и песка при расходе, зависящем от попадающих в смесь стержневых остатков. Пример группирования отливок по массе с соответствующими рекомендациями по освежению приведен в табл. 3.22.

Такой метод превентивного регулирования основан не на аналитических расчетах освежения при смене номенклатуры изготовляемых отливок, а на комплексе требований к технологическому процессу их производства, в частности: определение степени дегидратации бентонита и доли попадания в смесь стержневых остатков для каждой модельной плиты; планирование производства определенной номенклатуры отливок в течение заданного промежутка времени (смены, дня); соотношение металл — смесь, постоянное для изготовляемой группы отливок; применение дозирующих устройств достаточно высокой точности; корректировка состава и величины освежения в зависимости от интенсивности вентиляции, эффективности смешивания, величины потерь смеси и т. п.

Метод превентивного регулирования с использованием группирования отливок по технологическим признакам, несомненно, способствует стабилизации состава и свойств единых формовочных смесей. Однако возможности его применения ограниче-

ны, а достигаемая степень стабилизации состава и свойств недостаточно высока, в связи с чем он не получил широкого распространения. Для превентивного регулирования состава смеси предлагается разрабатывать математические регрессионные модели систем смесеприготовления и методов стабилизации состава и свойств формовочных смесей при многономенклатурном производстве отливок.

Наибольшее распространение получили системы расчетов, основанные на использовании балансовой модели формовочной смеси. Основной принцип этой модели сводится к тому, что свойства формовочных смесей целиком определяются их составом. Неактивный бентонит оказывает стабилизирующее влияние на свойства смеси. Свежий песок вводится для предотвращения накопления в смеси неактивной мелочи и обеспечения оптимальной степени оолитизации (см. в подразд. 3.3.1 с. 378) ее зерновой основы.

Большинство современных автоматических приборов для контроля и регулирования состава и свойств смесей работает совместно с системами и программами превентивного освежения состава. Так, фирма «Eirich» (Германия) для автоматов типа «Ротоконтроль» использует программу «Sand-experten-system», фирма «G. Fischer» (Швейцария) — программу «Sandmann». В России используется аналогичная программа, разработанная совместно НИИАТМ и АМО «ЗИЛ».

3.4. НЕГЛИНИСТЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ПЕСЧАНЫЕ СМЕСИ С НИМИ

Неглинистые связующие материалы можно подразделить на две группы: неорганические и органические. В смесях с неорганическими связующими при нагреве после испарения воды, как правило, газификация не происходит, а происходит спекание, тогда как при использовании органических связующих нагрев сопровождается выделением газов, чаще CO и CO_2, с образованием твердого коксового остатка.

Особенности поведения при нагреве неорганических связующих создают проблемы с выбиваемостью смесей при выбивке отливок и с регенерацией смесей.

В противоположность неорганическим связующим смеси на органических связующих легко выбиваются, подвергаются регенерации, но значительно ухудшают условия труда из-за их повышенной газотворности.

За рубежом объем применения органических связующих существенно выше, чем неорганических, несмотря на относительную дешевизну последних.

3.4.1. Песчаные смеси с неорганическими связующими материалами

В литейном производстве довольно широкое применение нашли жидкое стекло, фосфаты, цементы, гипсы, алюминатные спеки и т.п. Следует отметить, что в названиях смесей часто используется название связующего.

Жидкое стекло и жидкостекольные смеси. Жидкое натриевое стекло представляет собой коллоидный водный раствор силиката натрия $Na_2O \cdot nSiO_2\, m \cdot H_2O$, или упрощенно $Na_2Si_2O_5$. В действительности жидкое стекло имеет сложный химический состав, который нельзя описать одной химической формулой.

Жидкое стекло готовят из силиката натрия, который получают при 1300...1500 °С сплавлением кварцевого песка с содой, сульфатом натрия и углем.

Важнейшей характеристикой жидкого стекла является его силикатный модуль M, равный соотношению масс SiO_2 и Na_2O:

$$M = \frac{m_{SiO_2}}{m_{Na_2O}} 1{,}032,$$

где 1,032 — коэффициент, показывающий отношение молекулярной массы Na_2O к молекулярной массе SiO_2, т.е. по существу M — отношение числа молей SiO_2, приходящихся на 1 моль Na_2O.

В литейных цехах используется жидкое стекло с силикатным модулем 2,2...2,8, которое в летний период из-за понижения живучести смесей следует разбавлять водным раствором NaOH для понижения модуля до значений 1,6...1,7.

Основные свойства натриевого жидкого стекла, используемого в литейном производстве, приведены ниже:

Внешний вид	Густая жидкость желтого или серого цвета без механических включений и примесей, видимых невооруженным глазом
Содержание компонентов, мас. %:	
SiO_2	30,8...31,9
Na_2O	11,0...12,1
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$, не более	0,25
CaO, не более	0,20
SO_3	0,15
Силикатный модуль M	2,6...3,0
Плотность ρ, г/см^3	1,47...1,52

Впервые получение форм и стержней с применением жидкого стекла было связано с их отверждением продувкой углекислым газом (газообразным диоксидом углерода) в разработанном в Че-

хословакии в конце 1940-х гг. так называемом CO_2-процессе. Упрощенно процесс взаимодействия жидкого стекла и углекислого газа можно описать в виде реакции

$$Na_2Si_2O_5 + CO_2 + 4H_2O \rightarrow 2\ H_4SiO_4 + Na_2CO_3,$$

в результате которой образуется ортокремниевая кислота H_4SiO_4 и карбонат натрия Na_2CO_3 (сода). Именно гель ортокремниевой кислоты и является связующим веществом. Максимальное значение прочностных свойств жидкостекольной смеси соответствует моменту максимального содержания карбоната натрия Na_2CO_3. Поэтому увеличение длительности продувки сверх оптимального времени понижает физико-механические свойства смеси, pH смеси при этом (ниже 10,5) практически не снижается. Удельный расход CO_2 составляет 0,5... 1,5 $см^3/см^3$ жидкого стекла, при расходе последнего 5... 7 % массы песка.

Различные слои смеси в форме достигают наибольшей прочности в разное время. Первыми максимальную прочность приобретают слои, находящиеся наиболее близко к месту подвода углекислоты. По мере насыщения слоев углекислым газом максимум прочности смеси начинает перемещаться в глубь стержня, в то время как в первых слоях развивается процесс пересыщения CO_2 с образованием $NaHCO_3$, приводящий к разупрочнению. Таким образом, прочность, достигаемая при оптимальном времени продувки, является усредненной, ее значение ниже потенциально возможной максимальной прочности, которая теоретически может быть достигнута при одновременном развитии процесса во всем объеме смеси. Это в определенной степени реализуется при отверждении жидкостекольных смесей твердыми и в особенности жидкими отвердителями, использование которых приводит к одновременному отверждению смеси во всем объеме стержня или формы.

Жидкостекольные смеси пластичные («ПСС-процесс») и жидкие отверждают также различными твердыми отвердителями, вводимыми в смесь в порошкообразном виде. Такие смеси называют самотвердеющими. В качестве отвердителей используют саморассыпающийся шлак феррохромового производства (феррохромовый шлак), портландцемент, нефелиновый шлам, синтетический двухкальциевый силикат $2CaO \cdot SiO_2$, кремнефторид натрия Na_2SiF_6, ферросилиций, карбид кальция, кремний, полуводный гипс $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$, антипирен из нефелина, полифосфаты, алюминаты и др.

В последнее время для отверждения жидкостекольных смесей начали применять в качестве отвердителей сложные органические эфиры (СОЭ), использование которых во многом решает проблему выбиваемости и регенерируемости смесей с жидким стеклом. При CO_2-процессе потенциальная связующая способность жидкого стекла далеко не исчерпывается. Имеются данные, что связу-

Таблица 3.23. **Состав и свойства жидкостекольных смесей *1—6* с жидкими отвердителями**

Характеристика смеси	*1*	*2*	*3*	*4*[*2]	*5*	*6*
Содержание компонентов[*1], мас. ч.:						
жидкое стекло	3,0	3,5	4,0	2,75[*3]	3,5	3,5
жидкие отвердители[*4]	0,3	0,35	0,4	0,25	0,4	0,4
Живучесть смеси, мин	6...7	6...7	6...7	15	35...40	7...9
Прочность при сжатии, Н/мм^2, после выдержки:						
1 ч	0,85	1,25	1,4	0,5...0,6	0,07...0,12	0,85...0,95
2 ч	1,10	1,60	1,85	0,7...0,9	0,8...1,0	1,2...1,4
4 ч	1,65	2,25	2,5	1,4...1,6	1,6...1,8	1,9...2,1
24 ч	2,3	2,9	3,8	2,5...3,0	5,0...6,0	3,0...4,0
Осыпаемость через 24 ч, %	До 0,2	До 0,2	До 0,2	0,2...0,3	До 0,1	До 0,2

[*1] На 100 мас.ч. кварцевого песка марок $3K_3O_2016$ или $3K_3O_202$ (о марках песка см. подразд. 3.2.2).

[*2] Для жакетной формовки.

[*3] $\rho = 1{,}35$ г/см^3; для всех остальных вариантов $\rho \geq 1{,}45$ г/см^3; модуль жидкого стекла составляет 2,35...2,45.

[*4] В качестве жидких отвердителей использовались: в составах *1—3* — пропиленкарбонат; в составе *4* — пропиленкарбонат (0,025 мас.ч.) и технический триацетин (0,225 мас.ч.); в составе *5* — технический диацетат этиленгликоля; в составе *6* — технический диацетат этиленгликоля активированный.

ющие свойства жидкого стекла используются только на 10 %. Эфиры как отвердители жидкостекольных смесей впервые были предложены в 1967 г. В качестве сложных органических эфиров-отвердителей используют моноацетин, диацетин, триацетин, этиленгликольдиацетат (различные пропорции перечисленных материалов в смеси определяют время, необходимое для отверждения), диэтиленгликольдиацетат, гликольпропианат и их смеси и т. п.

В России в качестве подобного отвердителя применяется пропиленкарбонат — сложный эфир угольной кислоты. Существенным недостатком использования пропиленкарбоната в качестве жидкого отвердителя является сравнительно невысокая живучесть жидкостекольных смесей. Составы и свойства холоднотвердеющих жидкостекольных смесей с жидким отвердителем приведены в табл. 3.23, аналогичные данные для пластичных самотвердеющих смесей (ПСС) — в табл. 3.24.

В отличие от CO_2-процесса, в котором отверждение развивается последовательно от слоя к слою, при использовании СОЭ от-

верждение происходит одновременно во всем объеме смеси в равной степени, что, вероятно, является причиной более высоких прочностных свойств получаемых смесей. Поэтому для достижения необходимой технологической прочности смеси в случае применения СОЭ в качестве отвердителей содержание жидкого стекла в смеси может быть значительно уменьшено.

Обезвоживание жидкостекольных смесей осуществляется различными путями: тепловой сушкой, провяливанием на воздухе, поверхностной подсушкой, продувкой воздухом (холодным или горячим) или каким-то другим газом, вакуумированием. При этом жидкое стекло сначала превращается в вязкую жидкость, затем в полутвердую жидкость, постепенно переходя в дегидратированное вещество, способное связывать между собой зерна наполнителя. Чем выше силикатный модуль жидкого стекла, тем быстрее протекают указанные превращения. По мере удаления влаги прочностные свойства смеси нарастают, и конечная прочность смеси, обработанной обезвоживанием, по крайней мере, на порядок выше, чем при CO_2-процессе. Наибольшая прочность смесей отмечена при остаточной влажности 0,3...0,5 %. Однако следует отметить, что продолжительность технологических операций обезвоживания в случае применения СОЭ всегда значительно больше, чем при обработке смеси углекислым газом.

Таблица 3.24. **Состав* и свойства пластичных самотвердеющих смесей *1—3***

Характеристика смеси	*1*	*2*	*3*
Живучесть, мин	50...80	15...20	40...50
Влажность, %	3,5...4,0	3,5...4,0	3,6...4,5
Прочность при сжатии, Н/мм², исходная (в сыром состоянии)	0,013...0,020	0,017...0,028	—
То же, Н/мм², после выдержки:			
1 ч	0,04...0,05	0,07...0,09	0,18...0,35
2 ч	0,07...0,09	0,12...0,15	—
3 ч	0,12...0,14	0,18...0,22	0,45...0,70
4 ч	0,17...0,19	0,22...0,28	—
12 ч	0,40...0,50	0,45...0,55	—
24 ч	—	—	0,92...1,23
Осыпаемость через 24 ч, %	—	—	0,22...0,42
Газопроницаемость, ед.	100...150	100...150	—

* Содержание компонентов, мас.ч., в смеси состава:

1 — кварцевый песок марки $3K_3O_302$ 62...63, регенерат 30, формовочная глина 5, молотый каменный уголь 2,5, жидкое стекло (ЖС) (модуль M = 2,3, ρ = = 1,38...1,42 г/см³) 5,5, феррохромовый шлак (ФХШ) 0,8...1,2; *2* — то же, что *1*, но ФХШ 2,5...3; *3* — кварцевый песок марки $1K_3O_3016$ 98...99; жидкое стекло (силикатный модуль и плотность те же, что для *1* и *2*) 6...6,5; ФХШ 1...2.

Смеси на жидком стекле могут быть переведены в жидкое (пенообразное) состояние (ЖСС). Принцип получения ЖСС, разработанный в нашей стране в 1964 г., основан на переводе смесей с жидкостекольным связующим в подвижное состояние с помощью пенообразующих поверхностно-активных веществ (ПАВ) и последующем их самозатвердевании за счет использования двухкальциевого силиката или содержащих его материалов — феррохромового шлака, нефелинового шлама и др.

Широкий интерес к названному процессу, возникший после его внедрения, в настоящее время значительно уменьшился из-за таких недостатков, присущих процессу, как низкая точность размеров, неудовлетворительное качество отливок, плохая выбиваемость, большой расход свежих песков и др.

Фосфаты и фосфатные смеси. Фосфатные связующие (фосфаты) являются металлофосфатными композициями, в состав которых входят ортофосфорная кислота и оксиды или порошки металлов (Fe, Mg, Al и др.).

При взаимодействии оксидов металлов и ортофосфорной кислоты образуются кристаллогидраты, обладающие связующими свойствами, например:

$$FeO + 2H_3PO_4 + H_2O \rightarrow Fe(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O.$$

Фосфатные связующие характеризуются мольным или массовым соотношением P_2O_5/Me_2O_m или Me_2O_m/P_2O_5 в сочетании с показателем общей концентрации растворенных веществ (или содержанием воды). Потенциальное число связующих систем фосфатного типа велико, однако их практическое применение в литейном производстве ограничено сравнительно узкой группой технически доступных материалов.

В промышленности для фосфатных холоднотвердеющих смесей используются оксиды железа и магния. Из оксидов железа можно назвать железную окалину (прокатная, кузнечная), металлургическую пыль (продукт обеспыливания и очистки дымовых газов, покидающих плавильные печи, включая вагранку), пыль обдирки отливок из черных сплавов, железорудный концентрат молотый и др.

Материалы на основе оксида магния (MgO) в порядке убывания химической активности с H_3PO_4 образуют следующий ряд: металлургический магнезит, плавленый магнезит, магнезитохромит, хромомагнезит.

Композиции на основе алюминия и хрома твердеют в процессе нагревания и приобретают полимерные структуры типа $Me_nO_m \cdot P_2O_5 \cdot kH_2O$, а после прокаливания — $Me_nO_m \cdot P_2O_5$. Алюмофосфатные связующие твердеют при 350...400 °С. Если же к ним добавить один из металлов (*Me* — Fe, Cr, Mn, Mg, Ca), то образуются соединения типа $Me_nO_m \cdot Al_2O_3 \cdot P_2O_5$, которые твердеют при комнатной температуре.

Алюмофосфатные связующие применяются для приготовления противопригарных красок. Металлофосфатные связующие композиции применяют для получения холоднотвердеющих смесей, изготовления стержней, упрочняемых тепловой сушкой, и в нагреваемой оснастке.

Формовочные смеси с металлофосфатными связующими обладают высокой упрочняющей способностью, термостойкостью, хорошей выбиваемостью, нетоксичностью, высокой долговечностью.

Однако широкого распространения фосфатные связующие не получили, так как, возможно, период их разработки (1970 — 1990-е гг.) совпал с появлением весьма совершенных органических связующих.

Состав и свойства фосфатных самотвердеющих смесей приведены в табл. 3.25 и 3.26.

Феррифосфатные самотвердеющие смеси (см. табл. 3.25) интенсивно разрушаются при нагреве (после прогрева до 800...1000 °С остаточная прочность при сжатии составляет 0,03...0,08 Н/мм^2). Этим обеспечивается облегченная выбиваемость отливок. Из-за не-

Таблица 3.25. **Состав и свойства феррифосфатных самотвердеющих смесей *1—4***

Характеристика смеси	*1*	*2*[1]	*3*[2]	*4*
Содержание компонента, мас. ч.:				
кварцевый песок	87,0	100,0	84,0...88,0	92,0
окалина железная (кузнечная или прокатная) обезмасленная и домолотая	7,0	2,0...3,0	—	—
крокус	—	—	3,6...4,8	—
трифолин	—	—	—	4,5
H_3PO_4 (60%-ная)	6,0	3,5...4,5	7,2...9,6	3,5
Живучесть, мин	10	До 20	7...15	20
Прочность при сжатии, Н/мм^2, после выдержки:				
1 ч	2,5	0,3...0,4	0,15...0,4	1,5
4 ч	3,0	1,8...2,0	0,8...1,5	2,2
24 ч	3,2	3,5	2,0...2,6	3,9
Осыпаемость через 24 ч, %	0,3	0,2	До 0,01	0,15
Газотворность, см^3/г	До 10	До 7	До 14	До 7

[1] Смесь дополнительно содержит 0,2...0,3 мас. ч. лимонно-кислотного аммония, который вводят в ортофосфорную кислоту H_3PO_4.

[2] Смесь дополнительно содержит 1,2...1,6 мас. ч. лигносульфонатов технических, которые предварительно вводят в ортофосфорную кислоту.

Таблица 3.26. **Состав и свойства магнийфосфатных самотвердеющих смесей *1—4***

Характеристика смеси	*1*	*2*	*3*	*4*
Содержание компонентов, мас. ч.:				
кварцевый песок	—	92,5	92,38	90,0...92,0
цирконовый зернистый концентрат	100,0	—	—	—
материал на основе MgO	1,1...1,3*[1]	3,5*[2]	2,50*[4]	8,0...10,0*[6]
H_3PO_4 (ρ = 1,58...1,6 г/см^3)	2,0...2,2*[1]	4,0*[3]	5,12*[5]	4,0...5,0
Живучесть, мин	До 35	8...10	14...16	10...15
Прочность при сжатии, Н/мм^2, после выдержки:				
1 ч	0,7...0,8	0,8	1,2	2,5...3,0
2 ч	1,2...1,3	1,1	1,5	3,0...3,5
4 ч	2,5...2,8	1,7	2,0	—
24 ч	5,0...5,6	2,4	3,5	5,0...5,5
Осыпаемость через 24 ч, %	0,1	0,1	0,1	0,1
Газотворность, см^3/г	До 6	До 8	До 10	До 10

*[1] Плавленый молотый магнезит.

*[2] Металлургический магнезит электропечной с содержанием MgO не менее 90 мас. %, домолотый до $S_{уд}$ = 3600...5400 см^2/г.

*[3] Жидкая композиция (в пересчете на 100 мас.ч.) состава, мас. %: H_3PO_4 (ρ = 1,42 г/см^3) 94, лимонная кислота или отходы ее производства 6 %.

*[4] Обожженный при 1100 °С в течение 1 ч порошок дисперсностью 0,08 мм, полученный с электрофильтров при производстве периклазовых порошков, содержащих 93,5...96,5 мас. % MgO.

*[5] Жидкая композиция состава, мас. %: H_3PO_4 5,0, щавелевая кислота 0,12.

*[6] Хромомагнезит, содержащий 55...65 % мас. % MgO ($S_{уд}$ = 2000 см^2/г).

достаточных термостойкости, огнеупорности и по причине склонности к пригарообразованию их можно рекомендовать только для отливок из чугуна и цветных сплавов. Смеси являются экологически чистыми и практически не выделяют вредных веществ в воздушную среду.

Областью применения магнийфосфатных самотвердеющих смесей являются преимущественно стержни и формы для стальных отливок, что обусловлено достаточной термостойкостью, огнеупорностью и податливостью указанных смесей (см. табл. 3.26). При этом смесь *1* используется при получении крупных массивных стальных отливок с толщиной стенок свыше 300 мм.

Цементы и гипсы. Цементные смеси и смеси на основе гипса. Из цементов, применяемых в литейном производстве, следует назвать портландцементы низких и средних марок — ПЦ 300 и

ПЦ 400. В состав цементов входят трехкальциевый силикат $3CaO \cdot SiO_2$ (алит), двухкальциевый силикат $2CaO \cdot SiO_2$ (белит), трехкальциевый алюминат $3CaO \cdot Al_2O_3$ и четырехкальциевый алюмоферрит $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$.

Отверждение портландцементов при растворении водой связано с их гидратацией и образованием кристаллического сростка кальциевых и кальциево-алюминатных гидросиликатов.

Цемент получают путем обжига измельченных пород известняка, глины и других минералов при температуре 1300...1450 °С.

Получаемый клинкер размалывают с введением гипса и других добавок. Основным минералом, определяющим прочность цементных смесей, является трехкальциевый силикат. Процесс его гидратации соответствует схеме реакции

$$2(3CaO \cdot SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O \cdot 3Ca(OH)_2.$$

Одной из характеристик портландцементов является глиноземный модуль (Al_2O_3/Fe_2O_3), который должен быть выше 1,2. Для приготовления смесей вводят 10...12 % цемента и примерно такое же количество воды. Оптимальным является водоцементное отношение 0,6...0,9. Процесс твердения цементных смесей происходит медленно, иногда более 3 сут. После выдержки 4 ч прочность составляет 0,10...0,15 Н/мм^2.

Прогрессивным направлением является применение ускорителей твердения, наиболее распространенными из которых являются хлориды ($CaCl_2$, NaCl, $AlCl_3$, $BaCl_2$, $FeCl_3$), карбонаты (K_2CO_3, Na_2CO_3), фториды (например, NaF), а также органические материалы (меламиновые смолы, триэтаноламин). Неорганические добавки повышают растворимость клинкерных фаз, а триэтаноламин ускоряет гидратацию.

Широко известным ускорителем затвердевания цементов является патока. Взаимодействуя с $Ca(OH)_2$, она ускоряет гидратацию и одновременно образует «сшитый» полимер, упрочняющий смесь.

Весьма эффективно комбинирование цементов с лигносульфонатами. Особенно эффективно применение лигносульфонатов в комбинации с цементом-гидралюмом, содержащим до 55 % $3CaO \cdot Al_2O_3$, технология получения которого разработана совместно ЦНИИТмашем и МГУ, но его производство не организовано.

Недостатком цементов является снижение их активности при длительном хранении во влажной атмосфере из-за образования гидратных оболочек на частицах.

В варианте использования портландцементов в жидких самотвердеющих смесях в состав смеси вводят также жидкие технические лигносульфонаты, которые облегчают перевод смеси в жидкоподвижное состояние и повышают ее конечные прочностные

Таблица 3.27. **Состав и свойства цементных самотвердеющих смесей *1—4***

Характеристика смеси	*1*	*2*	*3*	*4*
Содержание компонентов, мас. ч.:				
кварцевый песок	100,0	92,30	88,69	100,0
портландцемент ПЦ 400	8,0...12,0*[1]	3,90	7,54	10,0
патока-мелясса	2,5...3,0	—	—	—
вода	2,5...3,0	—	—	7,0
ВГС*[2]	—	3,77	3,77	—
хлорид кальция		—	—	0,5
Живучесть, мин	Более 90	85	35	40
Прочность при сжатии в исходном состоянии, Н/мм^2	—	—	—	0,007
То же, Н/мм^2, после выдержки:				
1 ч	—	—	—	0,03
2 ч	—	0,05	0,70	—
3 ч	—	—	—	0,07
4 ч	0,1...0,2	0,7	1,10	—
24 ч	2,0...2,5	3,0	4,00	1,20
48 ч	—	—	—	1,60

*[1] $S_{уд}$ = 2500...5000 см^2/г.

*[2] ВГС — водорастворимые гидролизные сахара, водный раствор с концентрацией сухого вещества 30...50 % — продукт полного гидролиза древесины сульфатным методом.

показатели. К преимуществам портландцементов, определяющим целесообразность их применения прежде всего для крупных и кессонных форм, относятся дешевизна, экологическая и санитарно-гигиеническая безопасность и удовлетворительные технологические свойства, в том числе термостойкость.

Цементные самотвердеющие смеси имеют ограниченное распространение в России. За рубежом они применяются более широко, главным образом при изготовлении форм для крупных и массивных чугунных (реже стальных) отливок. Сведения о составах и свойствах цементных самотвердеющих смесей приведены в табл. 3.27.

Использование для приготовления смесей глиноземистых (или алюминатных) и высокоглиноземистых цементов обеспечивает повышение прочности и сокращение сроков затвердевания песчано-цементных смесей.

В качестве связующего находит применение также полуводный гипс: строительный (β-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$) (ГОСТ 125—79) или высокопрочный (супергипс) (γ-$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$). При затворении водой в течение нескольких минут образуется прочный кристаллический сросток двухводного гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). В процессе последу-

ющей термической обработки при температуре свыше 300 °С кристаллизационная вода может быть полностью удалена. Ввиду недостаточной термостойкости песчано-гипсовые смеси рекомендуются к использованию только для литья цветных сплавов. Известен также опыт применения полуводного гипса для изготовления литейных моделей.

Удовлетворительную прочность при отверждении и легкую выбиваемость обеспечивает связующая система гидралюм (синтетический продукт на основе трехкальциевого алюмината из отходов при переработке боксита) — жидкие технические лигносульфонаты, однако для ее применения требуется промышленное производство гидралюма.

Следует отметить, что в связи с интенсивным развитием и применением органических связующих, особенно за рубежом, область использования неорганических связующих возможно сократится, тем не менее все перечисленные связующие (жидкое стекло, фосфаты, цементы, гипсы) еще находят применение. За рубежом цементные смеси получили более широкое, чем в России, применение, особенно для крупных чугунных и стальных отливок.

3.4.2. Песчаные смеси на органических связующих

Для смесей на органических связующих используются связующие довольно обширной номенклатуры, которые в зависимости от характера отверждения можно разделить на следующие четыре группы:

- тепловое отверждение вне оснастки (главным образом, конвективная сушка);
- отверждение в нагретой (горячей или теплой) оснастке;
- отверждение в холодной оснастке под действием жидких катализаторов или отвердителей;
- отверждение в холодной оснастке под действием газообразных катализаторов или отвердителей.

В свою очередь, эти четыре группы можно разделить на два типа: отверждение вне оснастки (первая группа) и отверждение в оснастке (остальные три группы).

Песчаные смеси на органических связующих теплового отверждения вне оснастки. Технологии изготовления стержней с их отверждением вне оснастки можно считать доживающими свой век по причине присущих им существенных недостатков, таких, как низкая точность (см. гл. 16), высокие энергозатраты, низкая (0,005 Н/мм^2) прочность смесей в сыром состоянии и необходимость применения сушильных плит и драйеров.

Тем не менее, связующие этой группы в большом количестве широко применялись до 1940-х гг., и в настоящее время

они используются для изготовления стержней, в частности в России, обеспечивая удельную прочность (прочность, отнесенную к 1 % содержания связующего) более 0,7...0,8 Н/мм^2, высокую податливость стержней, легкую их выбиваемость и достаточную термостойкость. Ниже приводится перечень наиболее широко применяемых связующих для песчаных смесей рассматриваемого вида:

- льняное масло (ГОСТ 5791—81), олифа натуральная и олифа оксоль (продукты переработки льняного или смеси льняного и конопляного масел);
- связующее П (раствор в уайт-спирите окисленного петролятума — побочного продукта при изготовлении масел из нефти);
- связующее ПТ (раствор окисленного петролятума и талового масла — побочного продукта при получении целлюлозы);
- связующее ПТА (раствор окисленного петролятума, обработанного аммиаком и растворенного в уайт-спирите);
- связующее ГТФ (тяжелая фракция сланцевой генераторной смолы, имеет вид маслянистой жидкости);
- связующее 4ГУ(п) (комбинированное связующее, состоит из полувысыхающих масел и канифоли, сплавленных с битумом и растворенных в уайт-спирите);
- связующее КО (раствор кубовых остатков, полученных от дистилляции синтетических жирных кислот);
- связующее БК (эмульсионный раствор сульфитно-спиртовой барды (75 %), лака — тиноля (15 %) и связующего ГТФ (10 %));
- связующее УСК (универсальное синтетическое связующее, продукт переработки кубового остатка синтетических жирных кислот);
- связующее СП (эмульсионный раствор сульфитно-спиртовой барды плотностью $1{,}27 \cdot 10^3$ кг/м^3 (95 %) и окисленного петролатума (5 %);
- связующее СБ (эмульсионный раствор сульфитно-спиртовой барды (80 %) и связующего ГТФ (20 %));
- связующее ССБ (сульфитно-спиртовая барда иди лигносульфонат технический (ЛСТ)) (ТУ 13-6281036-05—89).

Стержни с перечисленными связующими сушат в сушилах при температурах 140...240 °С в зависимости от типа связующего.

При выборе связующего исходят из его удельной прочности на основе классификации стержней, согласно которой все стержни подразделяют на пять групп.

К первой группе относятся стержни, имеющие тонкие, ажурные стенки, образующие сложные внутренние полости отливок, при этом знаки стержней малоразвиты. Примером могут быть стержни, выполняющие водяную рубашку головки блока цилиндров. Для этой группы стержней удельная прочность на разрыв должна соответствовать 0,7...0,9 Н/мм^2.

Ко второй группе относятся стержни, которые при тех же показателях, что у стержней первой группы, имеют бóльшие знаки. Сюда относятся, например, стержни, формирующие полость водяной рубашки блока цилиндров. Удельная прочность связующего рекомендуется более 0,5...0,7 Н/мм^2.

К третьей группе относятся стержни более простой, по сравнению со стержнями первой и второй групп, конфигурации, в которых отсутствуют тонкие стенки на рабочей поверхности и имеются большие знаковые части, как, например, в центровых стержнях, формирующих цилиндровую и картерную части блока цилиндров. Удельная прочность связующего для таких стержней более 0,35...0,50 Н/мм^2.

К четвертой группе относятся массивные стержни, формирующие полости станин для станков. Для таких стержней связующие должны обеспечить удельную прочность 0,2...0,3 Н/мм^2.

Наконец, к пятой группе относятся массивные стержни простой конфигурации, формирующие внутренние и внешние полости. Для них удельная прочность связующих должна быть более 0,2 Н/мм^2.

К первой, второй и третьей группам относятся стержни для изготовления автомобильных отливок, отливок сантехники. Для них используются связующие на основе смол, масел, продуктов переработки различных производств. Для четвертой группы используется жидкое стекло, а для пятой группы — неорганические связующие (глина, жидкое стекло, цементы).

В табл. 3.28 приведены состав и свойства тринадцати смесей теплового отверждения на неводных синтетических связующих.

Смеси *1*, *2*, *4*, *5*, *8*, *9*, *10* используют для массового изготовления стержней на пескодувных машинах с последующей сушкой на драйерах, смеси *3*, *6*, *7*, *11*, *12*, *13* — для ручного или машинного изготовления стержней. Высокотекучие смеси (прочность в сыром состоянии 0,008...0,010 Н/мм^2) могут быть пластифицированы путем добавки глины. При этом их прочность в сыром состоянии возрастает до 0,01...0,02 Н/мм^2 и более, но одновременно существенно (в 2 раза и более) снижается прочность в сухом состоянии. ЛСТ является хорошим эмульгатором для неводных связующих УСК-1, КО, СКТ-10 и других, способствует их лучшему распределению по массе наполнителя, повышению термостойкости смесей, позволяет повысить температуру сушки и этим повысить производительность сушил. Смесь *5* применяют при производстве стальных отливок. Смесь *13* служит полноценным заменителем смесей со связующим СБ (ЛСТ + генераторная сланцевая смола ГТФ).

Появление фосфатных связующих привело к производству смесей теплового отверждения с указанными связующими, отличающихся низкой газотворностью и удовлетворительной выбиваемостью.

Таблица 3.28. **Состав и свойства смесей *1—13* на неводных синтетических связующих**

Характеристика смеси	*1*	*2*	*3*	*4**2*	*5**3*	*6*	*7**4*	*8**5*	*9**6*	*10*	*11*	*12*	*13**7*
Содержание компонентов, мас. ч. (на 100 мас. ч. кварцевого песка):													
лигносульфонаты технические (ЛСТ), $\rho > 1{,}2$ г/см^3	1,9... 2,3	3,0	2,0... 5,5	2,83	5,4	4,0... 5,0	4,1... 4,5	3,5	0,4... 3,0	—	3,0	4,0	4,8... 5,1
формовочная глина	—	—	0,8... 2,7	0,60	—	3,0... 5,0	1,3... 1,4	—	0,5... 2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
таловый пек сульфатный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,2	3,1	—	—
уайт-спирит или керосин	0,2... 0,4	—	0,6... 1,1	0,50	0,5	—	—	—	—	1,8	1,4	—	—
связующее КО	3,1... 3,9	—	1,9... 5,4	2,25	1,5	2,5... 3,5	—	—	—	—	—	—	—
связующее УСК-1	—	3,0	—	—	—	—	4,1... 4,5	1,3	—	—	—	4,0	—
связующее СКТ-10	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0... 4,0	—	—	—	—
Влажность*1, %	1,8... 2,3	2,5... 3,0	2,0... 3,4	2,6... 3,0	2,4... 3,0	2,5... 3,5	3,2... 3,4	75	2,0... 3,0	2,0... 3,0	2,0... 3,0	3,2... 3,8	До 3,0
Газопроницаемость, ед., не менее	100	75	70... 90	60	90	100	115... 120	140	—	150... 200	150... 200	—	100... 150
Прочность, Н/мм^2, при сжатии в сыром состоянии	0,006... 0,008	0,008... 0,010	0,005... 0,018	0,0065... 0,0075	0,0065... 0,0090	0,011... 0,017	0,011... 0,013	0,007	0,005... 0,007	0,006... 0,010	0,023... 0,026	0,011... 0,022	0,013... 0,016
То же, Н/мм^2, при разрыве в сухом состоянии	1,0... 1,7	0,8	0,8... 1,3	0,8... 1,2	0,8... 1,2	0,4... 1,0	1,05... 1,50	2,3	1,0... 1,2	1,5... 1,7	1,6... 1,8	0,6... 1,2	0,8... 1,0
Температура сушки, °С	220... 240	240... 250	220... 240	360... 380	360... 380	240... 280	290... 320	250	220	220... 250	240... 250	240... 250	200... 220
Осыпаемость, %	До 0,1	До 0,1	—	—	—	До 0,5	—	0,01	—	До 0,1	0,1	—	До 0,1
Газотворность, см^3/г	8...9	8...9	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	—

*1 Добавляется вода до получения требуемой влажности.

*2 Дополнительно содержит 0,21 мас.ч. связующего РСМ (эмульсии глицеринового гудрона в воде), $\rho = 1{,}25...1{,}32$ г/см^3.

*3 Дополнительно содержит 0,54 мас.ч. связующего РСМ, 0,5 мас.ч. асбестовой крошки и 0,2 мас.ч. нитрата натрия.

*4 Дополнительно содержит 8,2...10,5 мас.ч. древесной муки марки 180.

*5 Дополнительно содержит 0,7 мас.ч. гудрона — кубовых остатков дистилляции жирных кислот при производстве мыла и жиров.

*6 Дополнительно содержит 0,1...0,5 мас.ч. отхода от регенерации медно-никелевого катализатора, применяемого при гидрировании растительных жиров.

*7 Дополнительно содержит 0,9...1,2 мас.ч. раствора талового сульфатного пека в легком таловом масле.

Песчаные смеси на органических связующих, отверждаемые в нагретой оснастке. Процесс отверждения смесей в нагретой оснастке с общепринятым названием «Hot-box-процесс» появился в 1960-х гг. и, заменяя конвективную сушку вне оснастки, получил широкое распространение, особенно в отраслях массового производства (автомобильной, тракторной промышленности и др.). Преимуществами этого метода по сравнению с процессом конвективной сушки вне оснастки являлись более высокие точность и производительность.

Однако в настоящее время во всем мире (в России пока в меньшей степени) он вытесняется технологией получения стержней холодного отверждения в оснастке.

В качестве связующего для Hot-box-процесса используются синтетические смолы (продукты конденсации формальдегида с карбамидом и фенолом или только с фенолом, а также с фурфуриловым спиртом): СФ-480, фенолоспирты, карбамидфурановые (КФ-90, КФ-40, КФ-35, БС-40), фенолформальдегидные, карбамидформальдегидные (КФ-МТ, КФ-Ж), фенолкарбамидформальдегидные (ФПР-24, СФ-411), которые отверждаются при температурах 220...240 °С.

Следует отметить, что на заводах автомобильной промышленности для чугунных отливок в основном используется карбамидфурановая смола КФ-90, а для алюминиевых сплавов и бронзы — КФ-35, КФ-40, БС-40. Стержни с рассматриваемыми связующими отверждаются в нагретом ящике до манипуляторной прочности не менее 0,2 Н/мм^2.

К катализаторам смол горячего отверждения следует, в первую очередь, отнести растворы нитрата или хлорида меди. В частности, на основе нитрата меди выпускаются известные катализаторы горячего отверждения КЧ-41 и КЦ-32.

В массовом и крупносерийном производстве стержней для стальных отливок используются безазотистые фенолформальдегидные смолы горячего отверждения: СФ-480 и СФЖ-305 и фенолоспирты, а также фенолфурановые смолы ФФ-65 и ФФ-64С, которые предназначены для холодного отверждения.

В качестве катализаторов горячего отверждения фенолоспиртов используют сильнокислые соли типа насыщенного водного раствора хлорного железа.

Свойства смесей, отверждаемых в нагреваемой оснастке, приведены в табл. 3.29 [51].

Газотворная способность смесей по нагреваемой оснастке, как правило, не превышает 10...12 см^3/г.

Разновидностью Hot-box-процесса является получивший распространение за рубежом Warm-box-процесс, в котором температура оснастки снижена до 150...180 °С (это отражено в названии процесса «Warm-box» — «теплые ящики»). В качестве связу-

Таблица 3.29. **Свойства и составы[*1] смесей *1*—*7*, отверждаемых в нагреваемой оснастке (температура отверждения всех смесей 220...240 °С)**

Характеристика смеси	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Текучесть, %, не менее	60...65	70	60	—	—	—	—
Прочность при растяжении, Н/мм², в горячем состоянии	0,28...0,50	—	—	—	—	—	—
То же, Н/мм², после выдержки:							
15 с	—	0,20	0,22	0,33*2	0,18*2	0,21*2	0,25*2
30 с	—	0,35	0,38	0,39	0,61	0,42	0,77
60 с	—	0,60	0,70	—	0,86	—	1,00
Прочность при растяжении, Н/мм², в холодном состоянии	1,4...2,6	—	—	—	—	—	—
Область применения (по типу сплавов)	СЧ	Цветные сплавы	СЧ	СЧ	СЧ	—	—

*[1] На 100 мас.ч. сухого среднезернистого обогащенного кварцевого песка смесь содержит, мас.ч.: *1* — смола КФ-90 2,35; катализатор КЧ-41 0,50; спирт изопропиловый 0,15; стеарат кальция 0,05; сурик железный марки А или Б или пигмент железооксидный 0,4...2,0; *2* — смолы КФ-35 и КФ-40 (1:1) 2,4; катализатор на основе нитрата меди 0,8...1,0; моноэтаноламин 0,04; бегхаузная пыль 0,5; *3* — то же, что смесь *2*, плюс смола ФПР-24 0,4; *4* — смола КФ-90 2,5; катализатор КЧ-41 0,5...0,6; *5* — смола КФ-90 1,9; смола ФПР-24 0,6; катализатор КЧ-41 0,5; *6* — смола ФПР-24 2,2 ; катализатор ФС 26/6 0,6; ПАВ «Прогресс» 0,1; сурик железный 0,6; *7* — смола КФ-90 1,5; смола ФПР-24 1,5; катализатор КЧ-41 0,6.

*[2] После выдержки 10 с.

ющего в смеси используются фурановые и фенолформальдегидные смолы.

Преимущества Warm-box-процесса — сниженные энергозатраты (из-за более низкой температуры оснастки) и улучшенные санитарно-гигиенические условия. Высокая скорость отверждения в этом процессе достигается подбором специальных катализаторов.

Песчаные смеси на синтетических смолах холодного отверждения под действием жидких катализаторов и отвердителей. К этой группе связующих относятся синтетические смолы кислотного отверждения, отверждения жидкими аминами и жидкими сложными эфирами [51].

В табл. 3.30 приведены классы и марки синтетических смол холодного жидкого кислотного отверждения, а в табл. 3.31 — классы

смол, жидкие катализаторы — H_3PO_4, БСК (бензолсульфокислота), ПТСК (паратолуолсульфокислота), коксовый остаток, содержание азота и область применения. Кислоты выполняют именно функцию катализаторов отверждения, так как сами в реакцию не вступают, но оказывают влияние на pH реакционной среды.

Таблица 3.30. **Классы и марки холоднотвердеющих синтетических смол**

Класс	Марка	ГОСТ, ТУ	Зарубежные аналоги	
			Марка	Фирма-изготовитель
Карбамидные	КФ-Ж	ГОСТ 14231—88	—	—
Карбамидфурановые	БС-40	ТУ 6-05-1750—77, ТУ 6-06-5751766—88	Серия KOOLKAT, CHEMREZ200, KALTHARZ, CS14/4, 14/33	«FOSECO Int. Ltd» (Англия), «Ashland Chemicals» (США), «Hr ttenes Albertus» (Германия), «Furtenbach» (Австрия)
Фенольные	РСФ-3010 (ОФ-1) СФЖ-3042	ТУ 6-05-1641—86 ТУ 6-05-1826—77	Серия FOSET, серия KOOLKAT, CHEMREZ400	«FOSECO Int. Ltd» (Англия), «Ashland Chemicals» (США), «Hr ttenes Albertus» (Германия)
Фенолфурановые	ФФ-65 ФФ-65С (силанозированная)	ТУ 05-1985—85 ТУ 6-06-5751766—88	Серия KOOLKAT Серия FUROTEC, KALTHARZ, XA20	«FOSECO» (Англия), «FOSECO Int. Ltd» (Англия) «FOSECO Int. Ltd» (Англия)
Карбамидфенолфурановые	КФФ-Л	ТУ 38-10971—83	—	—
Полифурановые	ПФС	ТУ 59-02-00462—83	ECOLOTEC CSR 9500	«FOSECO», отделение в Германии (г. Боркен)

Таблица 3.31. **Коксовый остаток и содержание азота в смоляных связующих**

Класс смол	Катализатор	Массовое соотношение смола/катализатор	Коксовый остаток, мас. %	Содержание азота в смоле, мас. %	Область применения (по типу сплавов)
Карбамидные	H_3PO_4 (ρ = = 1,30 г/см^3)	1/0,3	До 10	20...24	Цветные сплавы
Карбамидфурановые с содержанием фурфурилового спирта, мас. %:					
20...30	H_3PO_4 (ρ = =1,57 г/см^3)	1/0,4	22,5... 32,5	18...15	Цветные сплавы и серый чугун
30...40	То же	1/0,4	32,5... 40,0	15...12	Серый чугун
40...60	»	1/0,5	40,0... 45,0	12...8	Серый чугун и низколегированные чугуны
60...80	H_3PO_4 или БСК, или ПТСК	1/0,5	45,0... 47,0	8...3	Серый, ковкий и высокопрочный чугуны, углеродистые стали
свыше 80	БСК, или ПТСК	1/0,5	До 50,0	3...0,5	Высокопрочный чугун и углеродистые стали
Фенольные*[1]	БСК или ПТСК	1/0,4	45,0... 52,5	0	Стали углеродистые и легированные
Фенолфурановые		1/0,4	52,5... 57,5	0	
Полифурановые		1/0,4	До 60,0	0	Стали углеродистые и легированные, в том числе для тяжелых отливок

*[1] Промежуточное положение между фенольными и карбамидными смолами занимают фенолкарбамидные смолы в зависимости от соотношения в них фенольной и карбамидной составляющих.

Испарение образующейся в результате реакции воды из внутренних слоев стержней затруднено, особенно при высокой относительной влажности воздуха, что приводит к зависимости прочности стержней от относительной влажности воздуха. Следует заметить, что эта зависимость не связана с гигроскопичностью.

Таблица 3.32. **Состав и свойства холоднотвердеющих смесей *1—7***

Характеристика смеси	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Марка смолы	БС-40			КФ-65С		ФФ-65С	РСФ-3010 (ОФ-1)
Расход смолы*[1], мас. ч.	1,8...2,0	1,8...2,0	1,3...1,5	1,0...1,2	1,0...1,2	1,0...1,2	2,0...2,2
Отвердитель	Ортофосфорная кислота (H_3PO_4), ρ = 1,56...1,58 г/см^3					БСК, ρ = =1,275 г/см^3	БСК, ρ = =1,27 г/см^3
Расход отвердителя, мас. ч.	0,8...1,0	0,6...0,8	0,4...0,9	0,6...0,8	1,1...1,6	0,3...0,5	1,0...1,2
Прочность при растяжении, Н/мм^2, после выдержки:							
1 ч	Свыше 0,2	0,15...0,20	0,10...0,15	0,2...0,3	0,3...0,6	0,9...1,0	0,8*[2]
4 ч	0,6...0,7	0,6...0,7	0,4...0,5	0,5...0,7	0,5...1,0	1,2...1,3	1,5*[2]
24 ч	0,8...1,0	0,8...1,0	0,4...0,5	1,0...1,4	0,8...1,2	1,3...1,5	2,5*[2]
Осыпаемость через 24 ч, %	0,02...0,06	0,02...0,06	До 0,3	До 0,1	До 0,1	До 0,1	До 0,2
Газотворность, см^3/г	До 20	До 20	До 14	До 12	До 12	До 10	До 16
Живучесть, мин	2,5...3,5	5,0...10,0	5,0...8,0	6,0...10,0	1,5...2,5	5,0...6,0	5,0...6,0
Минимальное время отверждения в оснастке, мин	До 10	До 40	До 20	До 30	6...10	До 40	До 40
Назначение	Средние стержни	Крупные стержни	Средние и крупные формы*[3]	Крупные стержни	Средние и мелкие стержни	Стержни, формы	Стержни, формы
Область применения (по типу сплавов)*[4]	СЧ	СЧ	СЧ	СЧ, ВЧ	СЧ, ВЧ	СЧ, ВЧ, сталь	СЧ, ВЧ, сталь

*[1] На 100 мас.ч. песка.
*[2] При сжатии.
*[3] 50...25 мас.ч. песка и 50...75 мас.ч. регенерата.
*[4] СЧ — серый чугун, ВЧ — высокопрочный чугун.

По мере прогрева стержня отвержденная смола сначала газифицируется (образуются пары воды и мономеров), затем начинается термическое разложение смолы — термодеструкция и образование коксового остатка. По величине коксового остатка судят о термостойкости смолы: чем он больше, тем термостойкость выше.

Коксовый остаток характеризуется по существу содержанием фурфурилового спирта, что следует из табл. 3.31. Фурфуриловый спирт в основном и определяет термостойкость смолы.

Важной характеристикой синтетических смол является содержание азота, так как присутствие азота в металле является причиной ситовидной пористости чугунных и стальных отливок (см. подразд. 15.4).

Силаны (кремнийорганические мономеры) являются модификаторами, резко повышающими прочность адгезионного взаимодействия синтетических смол с наполнителем.

Составы и свойства холоднотвердеющих смесей (ХТС) кислотного отверждения приведены в табл. 3.32.

В 1970-е гг. были разработаны смеси на основе полиспиртов и полиизоцианатов, отверждаемых жидким амином с достаточно высокой температурой кипения (выше 150 °С), ограничивающей выделение токсичных паров амина.

Технология получила название «PEP-set-процесс»; этот процесс может быть использован для получения отливок из алюминиевых сплавов и чугуна.

Фирма «Полион» (Россия) разработала фенолизоцианатную композицию «Полисет-1».

PEP-set-процесс уступает Cold-box-amin-процессу, который в настоящее время имеет широкое распространение.

В 1979 г. фирма «Borden» (Англия) разработала Alpha-set-процесс, связующим в котором является жидкий фенолформальдегидный олигомер резольного типа, а отвердителями служат жидкие сложные эфиры (триацетат глицерина, пропиленкарбонат, γ-бутиролактон и их смеси).

По сравнению с жидким процессом кислотного отверждения фенолформальдегидных и фурановых смол Alpha-set-процесс характеризуется малым выделением паров свободного фенола, формальдегида и метанола. Скорость отверждения смесей по Alpha-set-процессу может регулироваться в широких пределах, от 3...4 до 30...60 мин при расходе связующего 1,5...2,5 %, а отвердителя 25...30 % массы связующего.

Следует отметить, что универсальность процесса в отношении литейных сплавов и отмеченные экологические преимущества являются весомыми причинами для распространения Alpha-set-процесса. В России для этого процесса производятся связующее под названием «Термоэко-01» и отвердители К-3Б, К-3С и К-3Н.

К процессу отверждения жидкими отвердителями имеют отношение также смеси с использованием лигносульфонатов технических (ЛСТ) и хромового ангидрида Cr_2O_3 или персульфата аммония $(NH_4)_2S_2O_8$. Но такие смеси не получили распространения из-за высокой токсичности Cr_2O_3.

Песчаные смеси на синтетических смолах холодного отверждения в оснастке при продувке газовыми катализаторами. Названная технология разрабатывалась с 1970-х гг. фирмами «Ashland» США и «Borden» Англия [51]. Сначала у специалистов возникали сомнения в реализации этой технологии, так как газовые катализаторы (амин, SO_2) являются высокотоксичными веществами. Однако к настоящему времени технология отверждения смесей в оснастке газовыми катализаторами стала менее экологически опасной, особенно по сравнению с технологией Hot-box-процесса.

Газовые катализаторы — это газы (SO_2, CO_2) или жидкости (амины, метилформформиат) с температурой кипения 25...90 °С, которые легко переводятся в парообразное состояние. Поэтому стержневые машины должны быть обеспечены высокоточными устройствами (генераторами) для приготовления газовых смесей, а также подогревом газопроводящей системы и песка до 30...40 °С для предотвращения конденсации газового катализатора.

Продуваемый через стержневой ящик амин улавливается и нейтрализуется чаще всего в растворе серной кислоты с образованием нетоксичной соли сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$.

Перечни процессов, связующих, газовых катализаторов и газов-носителей приведены в табл. 3.33. Рассмотрим несколько подробнее приведенные в табл. 3.33 процессы холодного отверждения смесей путем продувки газовыми катализаторами.

Cold-box-amin-процесс. Суммарный расход связующего при этом процессе 1,2...1,8 %, расход амина как катализатора составляет 0,2...1,5 г/кг стержневой смеси.

Кроме связующих, выпускаемых фирмами «Ashland» (США), «Hüttenes Albertus» (Германия) и др., используется связующее «Полифарм-1» фирмы «Полион» (Россия), а в качестве катализатора — пары триэтиламина (ТЭА) с осушенным воздухом.

Живучесть смесей, получаемых в Cold-box-amin-процессе, 2...3 ч. Длительность продувки после надува смеси на пескодувной машине составляет 5...20 с, за это время стержень приобретает 60...70 % конечной прочности. Максимальный размер стержневого ящика 1200 × 1200 мм, масса стержней — от 1...2 до 250...300 кг.

К преимуществам Cold-box-amin-процесса по сравнению с Hot-box-процессом следует отнести следующее:

- повышение точности отливок на один-два класса;
- снижение расхода электроэнергии более чем в 10 раз;
- высокое качество отливок;
- снижение на 20...30 % потерь от брака.

Таблица 3.33. **Процессы холодного отверждения смесей путем продувки газовыми реагентами**

Торговое наименование процесса (связующая система)	Компоненты связующего	Газовый реагент + инертный газ-носитель
Cold-box-amin-процесс	Раствор бензилэфирной смолы; полиизоцианат (дифенилметандиизоцианат) в виде раствора	Амины: триэтиламин (ТЭА) $(C_2H_5)_3N$, диметилэтиламин (ДМЭА) $(CH_3)_2NC_2H_5$ в токе N_2 или CO_2, или в токе воздуха + + продувка N_2, CO_2 или воздухом
Cold-box-plus	То же, что для Cold-box-amin-процесса с дополнительным нагревом оснастки до 70...80 °С	
SO_2-процесс	Фурановая смола; органический гидропероксид метилэтилкетона	SO_2 (15...20 %) в токе сухого воздуха или N_2, или CO_2 (80...85 %) + продувка N_2 или CO_2, или сухим воздухом
Epoxy-SO_2-процесс	Эпоксидная смола; органический гидропероксид	
Free-Radical-процесс (FRC)/Iso-set	Акриловая или эпоксиакриловая смола	SO_2 (1...5 %) в токе N_2 или CO_2 (95...99 %) + продувка N_2 или CO_2
Beta-set-процесс	Щелочной резольный полифенолят (молярное отношение KOH/фенол = 0,6...1,0)	Метилформиат HCOO—CH_3 (30...40 % массы смолы) в токе сухого воздуха + + продувка воздухом
Resol-CO_2 (США), Fenoxy-CO_2 (Германия)	Резольный полифенолят, модифицированный специальной добавкой	CO_2 (до 1,0 % массы стержневой смеси) под избыточным давлением 0,1...0,4 МПа

Однако технология Cold-box-amin-процесса требует высокой технологической дисциплины, в том числе в отношении качества песка, особенно по влагосодержанию, кроме того, необходимо осушивание воздуха.

К недостаткам процесса следует отнести низкую живучесть смеси, разупрочнение стержней при хранении во влажном воздухе, затруднения при выбивке стержней в случае отливок из алюминиевых сплавов, а также образование просечек, ситовидной пористости и черных пятен (результат выделения блестящего углерода) на чугунных отливках.

Cold-box-amin-процесс в России внедрен на ОАО «Заволжский моторный завод», ОАО «ГАЗ», а также на Подольском литейном заводе концерна «Зингер».

Капитальные затраты по покупке стержневых автоматов фирмы «Lämpe» (Германия) могут быть уменьшены при переоборудовании российских автоматов для Hot-box-процесса.

SO_2-процесс. Отверждение фурановой или эпоксидной смол по SO_2-процессу происходит под действием H_2SO_4, образующейся вследствие окисления SO_2 пероксидом.

Непрореагировавший SO_2 удаляется из стержня в процессе последующей продувки смеси сжатым воздухом и в нейтрализаторе по реакции со щелочью превращается в сульфит натрия (Na_2SO_3) или калия (K_2SO_3). Прореагировавший в смеси диоксид серы SO_2 в виде H_2SO_4 остается в стержне. После заливки металла происходит термодеструкция связующего с образованием сероводорода и серооргани-ки, загрязняющих атмосферу заливочного и выбивного участков.

Смеси на фурановых смолах для SO_2-процесса отличаются высокой живучестью (до 24 ч), большой термостойкостью и легкой выбиваемостью из отливок легких сплавов.

Модификацией этого процесса является Ероху-SO_2-процесс, в котором используется модифицированная эпоксидная смола и который практически вытеснил SO_2-процесс (особенно в США).

С 1980-х гг. Ероху-SO_2-процесс используется на Камском литейном заводе.

Free-Radical-процесс (FRC). Основанный на быстрорадикальной полимеризации ненасыщенных полимеров (эпоксиакриловая полиэфирная смола) этот процесс разработан фирмой «Ashland» (США) в 1983 г. Составляющие связующей композиции — эпоксиакриловая смола и гидропероксид реагируют между собой только в присутствии SO_2. В процессе продувки SO_2 песчаная смесь отверждается почти мгновенно — в течение 0,5...5,0 с. Воздух для надува смеси в ящик и для вытеснения SO_2 из стержня должен быть осушен, в противном случае прочность стержня оказывается низкой. Живучесть смеси практически не ограничена.

Описанный процесс применяется в основном только в США наряду с Ероху-SO_2-процессом.

Beta-set-процесс. В 1980-х гг. фирмой «Borden» (Англия) разработан Beta-set-процесс, основанный на быстром отверждении той же фенолформальдегидной смолы резольного типа, как и в Alpha-set-процессе, парами метилформиата при продувке смеси.

Стержневая смесь может подаваться в стержневой ящик как пескодувным, так и пескострельным способами или свободной засыпкой, после чего она уплотняется методом вибрации или трамбовки.

Из генератора с использованием воздушного носителя пары, содержащие примерно 60 % метилформиата, продуваются через

стержень в течение 10...30 с. Содержание связующего составляет 1,5...2,5 %, расход отвердителя — до 50 % массы связующего. Достигаемая прочность в 1,5 — 2 раза ниже, чем в процессах с продувкой аминами или SO_2. Максимальная масса стержней не более 20 кг. Область применения — стержни для отливок небольших серий, так как в массовом и крупносерийном производстве предпочтительнее использовать Cold-box-amin-процесс и SO_2-процесс.

Метилформиат является малотоксичным, и при его использовании достаточно приточно-вытяжной вентиляции.

Beta-set-процесс, являясь универсальным, т.е. применимым практически для всех сплавов, обеспечивает высокое качество поверхности отливок; стержни имеют малую чувствительность к влажности и хорошую выбиваемость (по сравнению с технологией продувки аминами и SO_2), в связующем отсутствуют азот и сера.

В числе российских предприятий, использующих Beta-set-процесс, ЗАО «Армагус» (г. Гусь-Хрустальный, Владимирская область).

Resol-CO_2 (Fenoxy-CO_2)-процесс. В 1987 г. в США и Германии независимо разработаны процессы, связующим в которых была та же фенолформальдегидная смола резольного типа, что в Alpha- и Beta-set-процессах, а отверждение происходило при продувке смеси в оснастке углекислым газом (CO_2).

В случае Resol-CO_2-процесса (США) в состав связующего кроме смолы входят специальные добавки, обеспечивающие приемлемые показатели прочности. Примерами связующих могут служить препараты «Carbophen» фирмы «Hüttenes Albertus» (Германия) и «Novanol» фирмы «Ashland» (США).

Стержневая смесь содержит 2,5...3,0 % смолы сверх 100 % песка. Уплотнение может быть любым, но достаточным для технологических целей.

Отверждение стержня при продувке происходит в два этапа. На первом CO_2 в течение 15...60 с (в зависимости от массы стержня) медленно вытесняет воздух из смеси. На втором этапе смесь выдерживают под статическим давлением CO_2 в течение времени, в 3 раза превышающего время продувки. Для реализации такой технологии отверждения стержневой ящик помещают в сосуд, снабженный системой выпускных труб с клапанами соленоидного типа и обеспечивающий второй этап отверждения стержня.

Из-за невысокой (около 2 Н/мм^2) прочности на сжатие процесс применим для несложных стержней массой до 150 кг и средних опочных форм. В то же время следует отметить, что так как процесс обеспечивает хорошее качество поверхности чугунных и стальных отливок, а стержни (и формы) легко выбиваются, в настоящее время Resol-CO_2-процесс используют взамен CO_2-процесса на жидком стекле.

Таблица 3.34. **Склонность смесей к образованию литейных дефектов (ОЛД) при использовании различных технологий изготовления стержней**

Дефект	Оценка склонности к ОЛД*			
	Cold-box-amin-процесс	Epoxy-SO_2- и FRC-процессы	Beta-set-процесс	CO_2-процесс на жидком стекле
Эрозия	2	3	1	1
Просечки	3	2	2	2
Чистота поверхности	2	2	3	4
Газовые раковины	2	1	1	2
Проникновение металла	2	2	3	3
Образование блестящего углерода	3	2	1	1
Выбиваемость	3	2	1	5

* Оценки: 1 — отлично, 2 — хорошо, 3 — удовлетворительно, 4 — плохо, 5 — очень плохо.

В массовом и крупносерийном производстве отливок холоднотвердеющие смеси (ХТС), отверждаемые газообразными катализаторами, являются наиболее динамично развивающимися. Постоянно совершенствуются связующие композиции, способы отверждения, стабилизация свойств стержней, утилизация отходов.

По данным Ассоциации литейщиков Германии в 1997—1998 гг. массовое, крупносерийное и серийное производство отливок в Германии базировалось на применении следующих процессов, % от производства стержней:

Cold-box-amin-процесс 57
Hot-box-процесс, Warm-box-процесс 16
SO_2-процесс 6
Beta-set-процесс 2
Resol-CO_2-процесс 4
CO_2-процесс на жидком стекле 5
Прочие 10

Этих сведений достаточно, чтобы иметь представление о сравнительном распространении описанных технологических процессов в литейном производстве в мире. При выборе того или иного варианта технологии для конкретной номенклатуры отливок следует учитывать возможность образования специфических литейных дефектов. По материалам фирмы «Ashland» в табл. 3.34 приведена качественная ориентировочная оценка различных технологий по данным технологических проб, принятых для оценки склонности смесей к образованию литейных дефектов.

3.5. ПРОТИВОПРИГАРНЫЕ ДОБАВКИ И ПОКРЫТИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

Качество литой поверхности во многом определяет качество и свойства отливок. При улучшении качества поверхности повышается точность отливок, сокращается трудоемкость очистных работ, улучшается обрабатываемость, уменьшаются припуски на механическую обработку.

Формирование поверхности отливок — сложный процесс, определяемый физико-химическим взаимодействием оксидов металла и формы, температурным режимом и габаритами отливки, газовым режимом и термическими напряжениями в литейной форме. В результате этого сложного вероятностного процесса формируется литая поверхность с той или иной степенью шероховатости.

Качество поверхности отливки оценивается по шероховатости, наличию поверхностных дефектов в виде пригара, наростов, плен, ужимин и т.д. (см. подразд. 17.1.2).

Пригар представляет собой слой формовочной или стержневой смеси, прочно удерживаемый на поверхности отливки и резко ухудшающий поверхность отливки. Различают три вида пригара: механический, химический, термический.

Механический пригар. В результате внедрения сплава в поры формы возникает механический пригар. Факторами, влияющими на внедрение металла в поры формы, являются металлостатический напор и капиллярное давление, газовое давление в форме и глубина прогрева формы до температуры плавления внедряющихся в форму струек металла.

При заполнении формы жидким металлом происходит так называемое «захолаживание» металла с образованием твердой корки. По мере прогрева литейной формы до температуры плавления сплава, что характерно для толстостенных отливок, корка разогревается и струйки могут продвигаться в поры литейной формы. Следует отметить, что возникающий при этом пригар чаще встречается на крупных отливках, у которых в течение более длительного времени, чем в случае мелких и средних отливок, происходит взаимодействие жидкого металла с литейной формой и, следовательно, на большую глубину прогревается форма.

Химический пригар. В результате реакций между оксидами металла и формы, которым способствуют высокие температура плавления и реакционная способность образующихся оксидов металла, на поверхности проявляется так называемый «химический пригар». Одной из радикальных мер его предупреждения является использование химически инертных по отношению к оксидам металла формовочных материалов, таких, как циркон, дистенсиллиманит, хромит и т. п. Химический пригар характерен лишь для сплавов с высокой температурой плавления, например для стали и чу-

гуна. В процессе взаимодействия оксидов металла и формы может возникать трудноотделимый и легкоотделимый пригарный слой.

Если между металлом отливки и пригарной коркой возникает слой оксидов железа оптимальной толщины (для жидкостекольных смесей он составляет 100 мкм), то пригарная корка легко отделяется от металла по этому слою. Так, на толстостенных стальных отливках, полученных в жидкостекольных формах без применения покрытий, образуется легкоотделимый пригар, поскольку сталь легко окисляется и пригарная корка содержит большое число оксидов. На чугунных отливках получается трудноотделимый пригар.

Термический пригар. При заливке металла вследствие низкой огнеупорности формовочных материалов происходит оплавление поверхности формы с образованием термического пригара на отливке, который легко отделяется от поверхности отливок в виде толстой «шубы».

Описанные три вида пригара в чистом виде практически не встречаются, так как формирование отливки протекает в условиях совместного действия давления металла, его температуры и химического взаимодействия с формой.

По современным представлениям образование пригара происходит следующим образом. Как правило, заливаемый металл не смачивает кварцевый песок, но реагирует с кислородом воздуха. Оксиды образуются в большей степени на поверхности контакта металл—форма. Оксиды в виде жидких масс смачивают кварцевые зерна смеси, при этом облегчается их внедрение в поры смеси под действием давления (напора) металла, капиллярного давления и давления газа в полости формы, как показано в гл. 15. Внедрившаяся в поры струйка металла, покрытая пленкой оксидов, во-первых, вступает в химическое взаимодействие с частицами кварца, во-вторых, быстро охлаждается и, затвердевая, останавливается. Дальнейшее ее продвижение зависит от степени прогрева формы. При нагреве струйки выше температуры ликвидуса металла возможно некоторое увеличение глубины ее внедрения. Практически во всех технологических мероприятиях по уменьшению пригара используются описанные ранее представления об образовании пригара. Во-первых, стремятся к минимальному размеру пор; во-вторых, обеспечивают несмачивание формовочной смеси металлом и его оксидами; в-третьих, создают восстановительную атмосферу, препятствующую протеканию окислительных реакций; в-четвертых, обеспечивают быстрое затвердевание струек металла подбором более теплопроводного материала. Наконец, в-пятых, обеспечивают быстрое окисление внедрившихся струек, что приводит к потере ими прочности и легкому отделению пригара.

Для предотвращения пригара на чугунных отливках в формовочную смесь вводят каменноугольную пыль, мазут и другие уг-

леродистые добавки. Противопригарное действие каменного угля и других углеродистых добавок связывают с созданием в полости формы восстановительной атмосферы и образованием пиролитического («блестящего») углерода при температуре 600 °С. Восстановительная атмосфера препятствует протеканию окислительных реакций, пиролитический углерод оседает в виде прочной пленки на зернах кварца, которая не смачивается ни металлом, ни его оксидами и затрудняет внедрение металла в поры формовочной смеси.

В составе единой формовочной смеси следует использовать угли, содержащие 25...35 % летучих и дающие выход блестящего углерода не ниже 10 %. На автоматических линиях для увеличения газопроницаемости и прочности в зоне конденсации применяется гранулированный уголь с размером частиц 0,160...0,315 мм и их содержанием в добавке до 65...85 %. При машинной формовке допустимо использовать каменный уголь более тонкого помола — не менее 0,063 мм.

Из-за недостатков, связанных с применением каменного угля, (низкий выход блестящего углерода, ухудшение условий труда и т.п.), изыскиваются другие материалы (например, пеки, битумы), в том числе жидкие углеродсодержащие добавки (эмульсионные масла, синтетические полимеры), отличающиеся более высоким выходом блестящего углерода (более 40 %). Противопригарные добавки содержат 3...6 % молотого каменного угля или 1,6...2,0 % синтетических композиций, или 0,75...2,00 % жидких углеродсодержащих материалов.

Для предотвращения пригара на стальных отливках с толщиной стенки до 50 мм в смесь вводят мелкодисперсные огнеупорные добавки, например пылевидный кварц (маршаллит), который, уменьшая поры смеси, препятствует внедрению струек металла в них.

Для отливок с толщиной стенок более 50 мм используются смеси с высокими показателями теплопроводности и теплоаккумуляции, например в облицовочных смесях используют вместо кварцевых песков цирконовые пески. Кроме того, при изготовлении стальных отливок создают условия для образования легкоотделимого пригара. С этой целью в смеси вводят сильнодействующие окислители, например TiO_2, V_2O_5.

При введении в смесь щелочи или мочевины образуются вязкие массы эвтектического состава, эти массы заполняют поры, предотвращая внедрение оксидов металла в поры литейной формы.

При изготовлении отливок из алюминиевых сплавов используют мелкозернистые пески и сильно уплотняют смесь, что уменьшает размер пор. В случае получения отливок из магниевых сплавов используют гидроксид бора $B(OH)_3$ (тривиальное название «борная кислота»), сульфитную серу, препятствующие окислению и воспламенению магниевых сплавов.

Противопригарные покрытия. Для предотвращения пригара на поверхности отливок используют припылы, пасты и краски. В качестве припылов для *стального* литья применяют: маршаллит, дистен-силлиманит; для *чугунного* литья — графит; для *цветного* литья — тальк. Для покрытия поверхностей крупных литейных форм используют пасты, изготовленные на основе припылов.

Наибольшее распространение получили краски, которые представляют собой суспензии — дисперсные структуры, включающие огнеупорный наполнитель (основу), связующее, специальные добавки и растворитель. В качестве огнеупорной составляющей как *основы* красок используют по видам сплавов те же минералы, что и в припылах. В качестве *связующих* в красках широко используются материалы неорганической (глина, жидкое стекло) и органической природы. В свою очередь, различают три класса органических связующих в зависимости от температуры их термодеструкции. При разработке термостойких покрытий предпочтение следует отдавать связующим с температурой термодеструкции 180...250 °С и кремнийорганическим смолам с температурой термодеструкции 250...500 °С (полифенилсиликсоновая — Ф-1, полиметилсиликсоновая — КМ-9к).

Специальными добавками в красках являются добавки, повышающие седиментационную устойчивость, и добавки антисептиков, препятствующих брожению органических веществ и выделению запахов.

Действенным способом повышения седиментационной устойчивости литейных красок является увеличение вязкости жидкой фазы путем введения стабилизрущих веществ (стабилизаторов). Стабилизаторы представляют собой вещества, сильно набухающие и создающие коллоидные растворы повышенной вязкости. Для водных красок наилучшим не только связующим, но и стабилизатором является глина (бентонит). Содержание глины в составе краски не должно быть больше 3...4 %. Избыток глины вызывает растрескивание покрытия. В качестве стабилизаторов неводных красок используют: полиизобутилен, клей резиновый, бентоны — органические бентониты, полученные путем обработки глин соединениями аминов.

В качестве антисептиков в красках для предотвращения брожения органических добавок используют формалин технический, изопропиловый спирт, салициловую кислоту и бензонат натрия.

В качестве *растворителя* в литейных красках применяют воду и различные органические растворяющие вещества. К основным характеристикам растворителей относятся: растворяющая способность, температура кипения, скорость испарения, взрывоопасность, токсичность. Растворяющую способность, например, оценивают по вязкости растворов с одинаковой концентрацией растворенного вещества: чем ниже вязкость, тем активнее растворитель. Наибольшей активностью обладают ацетон и спирты, наи-

меньшая растворяющая способность у углеводородов (бензина, керосина, уайт-спирита). Практический интервал кипения, при котором растворитель может быть использован в быстросохнущих красках, находится в пределах 55...85 °С.

Краски, выпускаемые промышленностью, имеют специальные обозначения: водные краски *для стального литья* — СТ-1, СТ-2, СТ-3 (от слова «сталь») (в их составе пылевидный кварц, декстрин, патока, сульфитно-спиртовая барда, стабилизатор бентонит), ЦБ (цирконобентонитовая), СБ (силлиманитобентонитовая), МБ (магнезитобентонитовая). *Для чугунного литья* выпускается водная краска ГБ (графитобентонитовая), для цветных сплавов — водная краска ТБ (талькобентонитовая).

Водные краски после нанесения на поверхность форм и стержней обязательно должны подвергаться сушке. Самовысыхающие краски упрочняются после определенной выдержки окрашенных стержней на воздухе или при поджигании краски.

Приготовление красок из паст в литейном цехе ведется путем их растворения до необходимой плотности. На поверхность форм и стержней краски наносят кистью, посредством окунания или из пульверизатора (см. подразд. 8.1).

3.6. РЕГЕНЕРАЦИЯ ПЕСКОВ

Регенерация (от лат. *regenerato* — восстановление, возрождение) в применении к пескам проводится с целью удаления пленок связующего с поверхности частиц песка и в применении к формовочным смесям проводится их обработка для восстановления свойств. Для регенерации песка используют отработанные смеси, содержащие связующие материалы органического и неорганического происхождения. Конечным продуктом регенерации в этом случае является формовочный песок (*регенерат*), используемый в качестве заменителя свежего песка при изготовлении формовочных и стержневых смесей.

Регенерированные пески должны соответствовать требованиям стандарта, предъявляемым к формовочным пескам, т.е. должны быть чистыми по примесям и содержать частицы определенной крупности.

В производстве применяют механическую (сухую), гидравлическую (мокрую) и термическую регенерации. Часто используют комбинированную регенерацию, при которой регенерированный песок получают путем комбинирования сухой и мокрой регенерации в определенной последовательности.

Механическая регенерация. При механической (сухой) регенерации для отделения пленок связующего используют различные устройства, действие которых основано на применении механического и пневматического удара. При этом отделение пле-

нок происходит за счет возникновения в них напряжений, достигающих напряжений адгезионного сцепления от столкновения летящей с большой скоростью частицы с преградой. При разгоне частицы и смеси механическим путем регенерация носит название «механической», а при разгоне потоком воздуха — «пневматической». В ряде установок отделение пленок совмещается с сепарацией.

В мировой практике наиболее широкое распространение получили пневматические установки. Суть процесса состоит в следующем: струя воздуха, имеющая скорость 45 м/с, инжектирует (вбрасывает) отработанную смесь в вертикальную трубу. Далее при вылете из трубы зерна песка ударяются об отражатель. Наряду с этим во время полета в трубе песчинки соударяются между собой. Таким образом, они испытывают ударные нагрузки и при соударениях в трубе, и при ударе об отражатель. Под действием этих сил пленка связующего отделяется от поверхности зерна. Песок, падающий от отражателя вниз, частично удаляется. Часть его может повторно попадать на оттирку, все мелкие фракции относятся воздухом к фильтрам. Установка может состоять из одной секции или из нескольких, соединенных между собой последовательно секций. Способ пневматической обработки является наиболее интенсивным методом удаления пленки связующего с поверхности зерна.

С этих же позиций представляет интерес способ регенерации в потоке дроби. В этом методе механическое отделение связующего находится в комбинации с выбивкой стержней и очисткой отливок дробью. Дробь, летящая с большой скоростью, выбивает стержни, очищает поверхности отливки и отделяет пленку связующего от поверхности зерен песка. Затем с использованием магнитной и воздушной сепараций проводится разделение дроби, регенерата и мелких фракций.

Гидравлическая регенерация. В данном способе гидрорегенерации, или мокрой регенерации, отработанная смесь после предварительной подготовки в виде песчаной пульпы подается на отмывку пленки связующего. Отмывку песчаной пульпы осуществляют различными способами: в проточной воде, гидроциклонах, оттирочных машинах, где песчано-водная смесь интенсивно перемешивается. После сепарации (классификации) проводят обезвоживание песка (регенерата) и его сушку. Применяемая в технологическом цикле вода осветляется для повторного использования. Расход воды составляет примерно 10 т на 1 т регенерируемой смеси. Для обезвоживания используют методы выдерживания влажного песка в специальных резервуарах, центрифугирования (влажность понижается до 6...10 %), вакуумирования. Полное удаление влаги из песка достигается досушкой во вращающихся барабанах или установках кипящего слоя (эффективность сушки в последних значительно выше, чем в барабанах).

Термическая регенерация. Для смесей с органическими связующими применяется термическая регенерация — нагрев отработанной смеси до 650...1000 °С, выдержка при этой температуре в окислительной атмосфере и охлаждение. При температуре нагрева 250...400 °С удаляются все летучие составляющие, далее при температуре 800 °С и выше выгорают углеродсодержащие добавки. Коксовый остаток и другие мелкие фракции удаляются последующей сепарацией. В определенной степени на отделение пленок связующего при термической регенерации влияет разница в температурных коэффициентах линейного расширения материала пленок и зерен песка.

Для проведения термической регенерации используют печи барабанные с пересыпными полками и кипящего слоя. Для регенерации песков преимущественное развитие получили печи кипящего слоя. В качестве топлива обычно используется газ, реже — нефтепродукты и электроэнергия. Время пребывания материала в печи складывается из времени, необходимого для нагрева частиц до заданной температуры, и времени выгорания органических веществ. В потоке горячих газов зерна формовочного песка нагреваются за время менее 1 с. Для достижения в кипящем слое при 650...850 °С уровня потерь при прокаливании менее 0,2 % время обжига выбирают в пределах 4...6 мин.

Для охлаждения регенерата применяют контактные воздушные охладители, барабанные или кипящего слоя: бесконтактные водяные трубчатые охладители или комбинированные охладители кипящего слоя.

Заключительным этапом регенерации песка является сепарация, т. е. разделение зерновой основы песка и пылевидных фракций. Для этой цели используют специальные сепараторы. Смесь через трубу снизу подается воздухом со скоростью 18...20 м/с. По выходе из трубы скорость потока снижается до 4...6 м/с, что достигается благодаря расширению проходного сечения. При этом крупные частицы вследствие снижения скорости падают в сборник и по мере накопления удаляются из сепаратора. Более мелкие частицы уносятся воздухом вверх, где им с помощью направляющих лопаток придается вращательное движение. Далее крупные частицы этой фракции попадают во внутренний конус, по которому их движение направляется вниз, в сборник регенератора. Вся мелочь и пыль воздухом выносится из сепаратора вверх, к очистным фильтрам. Степень сепарации можно регулировать поворотом лопаток на нужный угол.

При выборе способа и объема регенерации необходимо принимать во внимание экономическую эффективность. Процесс регенерации становится рентабельным только при достижении определенной производительности, и положительный эффект будет тем больше, чем выше производительность установок регенерации. В связи с этим представляется целесообразной централиза-

ция процессов регенерации на базе объединения нескольких заводов, которую необходимо осуществлять на специализированных предприятиях. Только при такой организации производства возможны полная механизация и даже автоматизация технологических процессов регенерации формовочных и стержневых смесей. Наряду с экономической целесообразностью при этом улучшатся санитарно-гигиенические условия работающих литейных цехов, повысится эффективность охраны окружающей среды.

3.7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСЕЙ

Влажность. Вода, содержание которой определяет влажность смесей, может быть самостоятельным компонентом связующей композиции (песчано-глинистые, цементные смеси) и входить в состав одного из ее компонентов как растворитель (жидкое стекло, водорастворимые синтетические смолы, технические лигносульфонаты и др.).

В первом случае влажность влияет практически на все технологические свойства: прочность, газотворность, газопроницаемость, уплотняемость, формуемость, текучесть, прочность в зоне конденсации, высокотемпературные свойства.

Прочность при сжатии σ_W и газопроницаемость K связаны с влажностью зависимостью, согласно которой и прочность, и газопроницаемость с увеличением влажности возрастают и при определенной влажности достигают максимальных значений, а далее следует период их спада (рис. 3.15).

Превышение или снижение влажности $\Delta W_р$ относительно рабочей $W_р$ влажности более чем на 10...15 % приводит к поверхностным дефектам в отливках (пригар, ужимины), внутренним дефектам (газовые раковины), к снижению прочности формы и подутию отливок, снижению поверхностной прочности формы, к засору отливок.

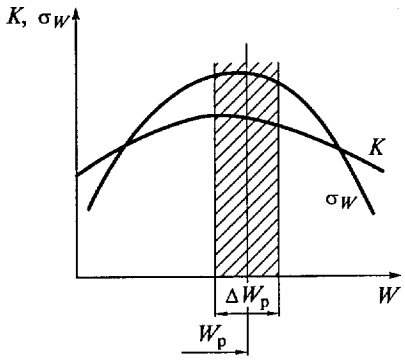


Рис. 3.15. Принципиальные зависимости газопроницаемости K и прочности при сжатии σ_W смесей от их влажности W

Превышение или снижение влажности относительно рабочей приводит также к колебанию уровня контрлада полуформы после уплотнения при объемном дозировании смеси. Это связано с тем, что уплотняемость смеси напрямую связана с влажностью. С повышением влажности смесь в определенном интервале ком-

куется и становится «воздушной» с большим объемом пор, поэтому при том же уплотнении уровень контрлада понижается. При понижении влажности высота смеси после уплотнения будет превышать высоту опоки.

При установке нижней полуформы на подопочный щиток в первом случае произойдет проседание кома смеси в опоке, а во втором — его выдавливание, что приведет к браку форм и, соответственно, отливок по геометрии. В автоматизированном производстве используют смеси пониженной влажности, при этом излишек смеси со стороны контрлада удаляется путем срезания специальными устройствами.

Во втором случае, когда вода входит в состав компонентов смеси, содержание воды характеризует концентрацию связующего или катализатора и влияет как на скорость упрочнения, так и на другие технологические свойства.

В формовочных материалах различают следующие виды воды:

• конституционная, т.е. вода, которая входит в химический состав материала. Например, для глины конституционная вода удаляется при температуре 350...700 °С, после чего связующая способность глины теряется. По этой причине из-за нагрева смеси вблизи отливки до названных температур смесь периодически необходимо освежать, а при сушке форм температура не должна превышать 400 °С;

• адсорбционная вода в песчано-глинистых смесях образуется при набухании глины вследствие внедрения молекул воды в межслоевые пространства;

• капиллярная вода удерживается капиллярными силами, силами смачивания. Вода этого вида образуется при формировании гелей (например, в CO_2-процессе, при поликонденсации смол), в результате поглощения воды из влажного воздуха и в процессе ее капиллярной конденсации.

При определении влажности путем высушивания смесей при 105...110 °С удаляются только адсорбционная и капиллярная вода. В лабораторных условиях навеску смеси (50 ± 0,01) г помещают в предварительно высушенную и взвешенную емкость, сушат при 105...110 °С в течение 30 мин, после чего взвешивают.

Влажность, %, определяют по уравнению

$$W = [(m_1 - m_2)/m]100,$$

где m_1 — масса емкости с навеской до высушивания, г; m_2 — то же, после высушивания, г; m — масса навески до высушивания, г.

Для сокращения продолжительности испытания сушку проводят инфракрасной лампой. Для этого используют приборы модели 062М2 УЗЛО (Усманский завод литейного оборудования), LA_p фирмы «Wadar» и РЛТ фирмы «G. Fischer». Продолжительность сушки составляет 10...15 мин.

Для автоматизированного производства прямой метод определения влажности непригоден. В этих случаях применяют косвенные методы, например емкостный метод, который используется фирмой «P.Lippke» (Германия) для автоматического контроля и регулирования влажности.

В неавтоматизированных литейных цехах выпуск смеси из смесителей выполняет опытный оператор по показаниям ручной пробы (нем. *handformgerecht*), когда испытуемая смесь сжимается в руке, и далее по отпечатку на уплотненной смеси судят о влажности, а по усилию разрушения большим пальцем образца, лежащего, как на опорах, на указательном и безымянном пальцах, — о прочности.

В некоторых случаях контроль влажности смеси в конкретном производстве осуществляют также косвенными методами: по насыпной массе просеянной через сито смеси или ее уплотняемости. При этом необходимы тарировочные зависимости.

Формуемость. Данное свойство характеризует способность формовочной смеси воспроизводить конфигурацию модели, заполнять карманы при свободной засыпке. Близким по смыслу к формуемости является понятие «сыпучесть». Чем больше влажность смеси, тем формуемость меньше. Формуемость определяют путем просеивания смеси в сетчатом барабане диаметром 100...110 мм с размерами ячейки сетки 2,5 мм. Частота вращения барабана 60 мин$^{-1}$, масса навески 200 г, время вращения 10 с. Формуемость оценивают индексом формуемости $I_ф$, %, по уравнению

$$I_ф = (m_2/m_1)100,$$

где m_2 — масса смеси, прошедшей через сетку; m_1 — масса исходной навески.

При $I_ф = 75...80$ % влажность смеси соответствует требованиям по готовности смеси. Индекс формуемости используется при организации автоматизированного контроля влажности. Схема устройства «Moldability controller» описана в подразд. 3.3.5.

Газотворность. Способность формовочных материалов выделять газы при нагревании называется «газотворностью». В подавляющем большинстве случаев газотворность формовочных материалов является одним из факторов, влияющих на образование газовых раковин в отливках. Источники образования газов в литейной форме связаны со следующими процессами:

- испарение влаги при заливке (при испарении 1 см^3 воды выделяется 1200...1450 см^3 водяного пара);
- сгорание органических связующих;
- окислительно-восстановительные реакции на границе металл—форма.

Газотворность характеризуют двумя параметрами: 1) в случае абсолютной газотворности общим объемом газов Q, см^3, выделившихся из навески смеси при нагреве, или производными от Q,

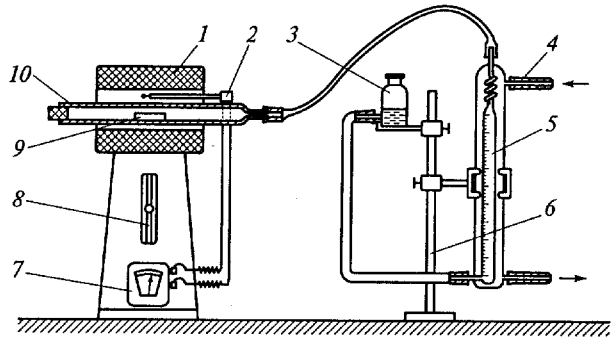


Рис. 3.16. Схема установки для определения газотворности:

1 — печь Марса; *2* — термопара; *3* — уравнительный сосуд; *4* — подводка охлаждающей жидкости; *5* — мерная бюретка с холодильником; *6* — штатив; *7* — гальванометр; *8* — реостат печи; *9* — лодочка с навеской; *10* — кварцевая трубка

а именно — удельной массовой газотворностью, $см^3/г$ (величину Q делят на массу испытуемой смеси), и удельной объемной газотворностью, $см^3/см^3$ (величину Q делят на объем смеси); 2) температурой газификации связующих материалов.

Газотворность смеси косвенно и приближенно можно характеризовать по потерям при прокаливании (п.п.п.) веществ, которые определяются при нагреве навески $(5 \pm 0{,}01)$ г до температуры 900 °С и удалению из навески всех видов воды, полному сгоранию органических веществ и газификации неорганических веществ. Величину п.п.п. определяют по уравнению, %:

$$\text{п.п.п.} = [(m_{\text{исх}} - m_{\text{пр}})/m_{\text{исх}}]100,$$

где $m_{\text{исх}}$ — исходная масса смеси; $m_{\text{пр}}$ — масса смеси после прокаливания.

Наибольшее распространение получил способ газификации навески смеси в специальной трубчатой печи (рис. 3.16) [7]. Установка состоит из трубчатой печи *1*, в которую вставляется кварцевая или фарфоровая трубка *10* внутренним диаметром 18...20 мм. Один конец трубки соединен с водоохлаждаемой мерной бюреткой *5* объемом 50...100 $см^3$. В другой конец трубки по достижении в ней необходимой температуры устанавливают фарфоровую лодочку *9*, после чего трубку быстро закрывают пробкой и включают секундомер для отсчета объема вытесненной воды из бюретки за следующие принятые промежутки времени: 15, 30, 45, 6 с и т.д. Выделяющийся из навески массой $(3 \pm 0{,}1)$ г газ поступает в мерную бюретку, вытесняя из нее воду в уравнительный сосуд *3*. Перед началом испытаний уровень воды в бюретке должен быть на нуле. С помощью данного прибора можно определять следующие параметры:

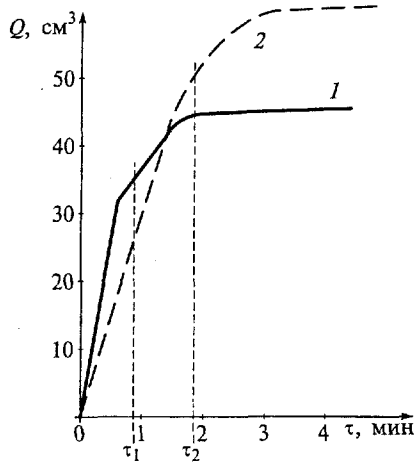


Рис. 3.17. Кинетика выделения газов для связующих *М* (кривая *1*) и льняного масла (кривая *2*)

• общий объем Q, см³, газов, выделяющихся из навески при полной ее газификации (абсолютная газотворность), и его производные;

• температуру газификации связующих материалов, при которой наступает максимум газообразования.

Для сравнительного анализа связующих по их газотворности представляет интерес кинетика выделения газов. На рис. 3.17 представлены кривые изменения объема выделившихся газов во времени τ для связующих *М* (кривая *1*) и льняного масла (кривая *2*). Показано также время образования твердой корки тонкостенных (τ_1) и толстостенных (τ_2) отливок. На основании приведенных данных можно заключить, что связующее *М* предпочтительнее для толстостенных, а льняное масло — для тонкостенных отливок, так как к моменту образования твердой корки на отливке они выделяют меньше газов.

В табл. 3.35 приведены примерные значения температур газификации и величин удельной массовой газотворности некоторых связующих материалов [7].

Газопроницаемость. Способность форм и стержней пропускать через себя газы определяется газопроницаемостью формовочных материалов. Для характеристики газопроницаемости формовочных материалов используют уравнение, выведенное на основе закона фильтрации Дарси, согласно которому

$$K = \frac{Vh}{fp\tau}, \qquad (3.14)$$

где K — газопроницаемость, см⁴/(гс · мин); V — объем воздуха, прошедшего через образец, V = 2000 см³; h — высота образца, h = = 5 см; f — площадь поперечного сечения образца, f = 19,6 см²; p — показание манометра, см вод. ст. (гс/см²); τ — время прохождения 2000 см³ воздуха через образец, мин.

После подстановки цифровых значений уравнение (3.14) примет вид

$$K = 509{,}6/(p\tau).$$

Для испытаний используется широко известный в стране и за рубежом прибор, принципиальная схема которого представлена на рис. 3.18.

Таблица 3.35. **Температура газификации и величина газотворности различных связующих**

Связующие материалы	Примерная температура газификации, °С	Примерная удельная газотворность, $см^3/г$
Карбамидформальдегидная смола	280...320	410
Декстрин	330...380	850
Патока	380...420	540
Сульфитная барда	400...520	500
Бентонит (химически связанная вода)	200...420	20...100
Льняное масло	420...480	500
Фенолформальдегидная смола	650...750	460

Прибор состоит из неподвижного и подвижного резервуаров, внутри которых встроены трубки. Нижний неподвижный резервуар *9* заполнен водой, выполняющей роль гидравлического затвора. Воздух под действием массы резервуара через отверстия в трубке, поступает через трехходовой кран *7* в гильзу *5*, в которой находится образец *4* испытуемой смеси.

При испытании измеряют манометрическое давление *p* с помощью камерного манометра *1*, в камеру которого наливается вода

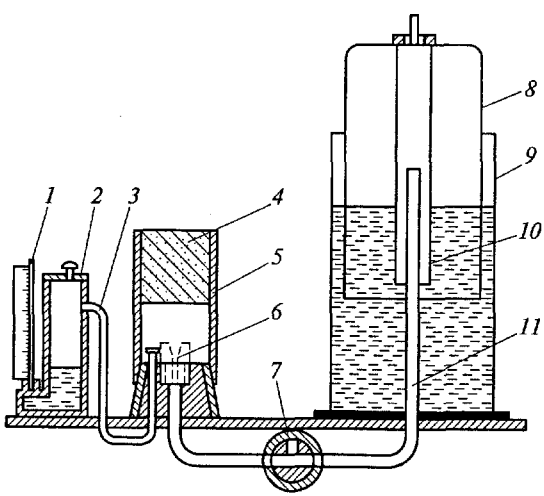


Рис. 3.18. Принципиальная схема прибора для определения газопроницаемости смесей:

1 — манометр; *2* — корпус резервуара манометра; *3* — трубка; *4* — образец смеси; *5* — металлическая гильза с фаской; *6* — ниппель; *7* — трехходовой кран; *8* — подвижный колокол; *9* — резервуар с водой; *10* — трубка колокола; *11* — трубка резервуара

через отверстие, закрываемое пробкой с винтовой нарезкой. Так как объем камеры больше, чем объем канала стеклянной трубки, высота уровня в этой камере принимается условно неизменной.

Образцы для испытаний на газопроницаемость имеют такие же размеры (диаметр 50 мм и высота 50 мм), что и стандартные образцы для механических испытаний. Они изготовляются в металлической гильзе с посадочным конусом. Для испытаний сухих образцов используется неразъемный патрон Фишера, имеющий по внутреннему диаметру резиновое уплотнение.

На приборе газопроницаемость определяют нормальным и ускоренным способами.

При *нормальном* способе определения газопроницаемости через образец испытуемой смеси пропускается 2000 см^3 воздуха. При этом по секундомеру фиксируют время опускания колокола и снимают показания о давлении по манометру.

Пример. При испытании образца определено манометрическое давление $p = 2{,}8$ см вод. ст. Время прохождения 2000 см^3 воздуха равно 1,5 мин. Газопроницаемость в этом случае будет равна[1]

$$K = 509{,}6/(2{,}8 \cdot 1{,}5) = 121 \text{ см}^4/(\text{гс} \cdot \text{мин}).$$

В практической работе размерность опускается и принимается, что газопроницаемость измеряется величиной, равной 121 ед.

Давление под колоколом при ускоренном методе испытания должно составлять 10 см вод. ст. С этой целью на подвижный колокол надевают съемные чугунные кольца.

Наличие перед образцом калиброванного отверстия заранее определяет возможный расход воздуха. Поэтому газопроницаемость определяется только как функция давления, и необходимость отсчета времени отпадает. Давление перед образцом выравнивается в сотые доли секунды, поэтому нет необходимости дожидаться опускания колокола до отметки 2000 см^3.

Заглушка с калиброванным отверстием $D = 0{,}5$ мм применяется в том случае, когда газопроницаемость смеси ожидается менее 50 ед., а в случае большей газопроницаемости устанавливается заглушка с калиброванным отверстием $D = 1{,}5$ мм.

При *ускоренном* методе газопроницаемость для калибров диаметром 0,5 и 1,5 мм подсчитывается по уравнениям:

$$K_{0,5} = 35{,}3\frac{\sqrt{10 - p}}{p}; \qquad (3.15)$$

$$K_{1,5} = 322\frac{\sqrt{10 - p}}{p}. \qquad (3.16)$$

[1] Прибор, применяемый во всем мире, имеет шкалу с приведенной размерностью газопроницаемости.

При испытании газопроницаемости требуется определить только манометрическое давление p (перед образцом).

Для упрощения определения газопроницаемости ускоренным способом используют специальные таблицы, которые составлены в соответствии с уравнениями (3.15) и (3.16) и приведены на неподвижном резервуаре прибора.

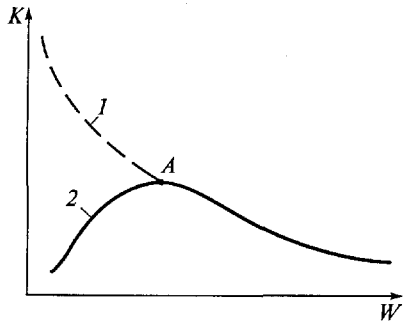


Рис. 3.19. Зависимость газопроницаемости формовочных смесей от влажности:

1 — теоретическая кривая;
2 — практическая кривая

Испытание проводят на трех образцах, при этом принимаются только три результата, которые различаются один от другого не более чем на 10 %. К факторам, влияющим на газопроницаемость, относятся зерновой состав, плотность, влажность.

С увеличением диаметра зерен и однородности кварцевого песка газопроницаемость увеличивается, а при увеличении плотности набивки формы — уменьшается.

Зависимость газопроницаемости K от влажности W песчаноглинистых смесей отличается от теоретических представлений (рис. 3.19). Кривая *1* изображает теоретическую кривую изменения газопроницаемости — при увеличении влажности вода заполняет поры и газопроницаемость уменьшается. Реальный процесс отражает кривая *2*. До точки A теоретическая *1* и практическая *2* кривые не совпадают. Практическое увеличение газопроницаемости до точки A объясняется тем, что при малой влажности вода способствует укрупнению пылевидных частиц, поры при этом увеличиваются, кроме того, при смачивании каналов снижается трение проходящих газов. При влажности более высокой, чем в точке A, каналы заполнены водой, и газопроницаемость снижается, кривые *1* и *2* на графике совпадают.

Увеличить газопроницаемость смеси названными факторами в текущем производстве практически невозможно. Поэтому реально стремятся повышать не газопроницаемость смесей, а газопроницаемость формы и стержней за счет вентиляционных каналов, наколов в форме и стержнях и применением пустотелых стержней. Особенно важно проведение мероприятий по увеличению газопроницаемости для стержней (см. гл. 8).

При выборе минимально необходимой газопроницаемости для вновь разрабатываемых смесей учитываются такие факторы, как масса и толщина стенки будущей отливки, температура заливки сплава, конструктивный параметр стержня.

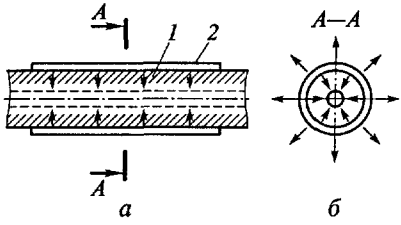


Рис. 3.20. Поток газов от отливки в стержень (*а*) и в стержень и форму (*б*):

1 — стержень; *2* — отливка

Увеличение температуры заливки сплава повышает интенсивность газотворности смесей, а при увеличении массы и толщины стенки возрастает продолжительность взаимодействия жидкого металла и формы.

Поток газов от отливки к стержню по форме сужающийся (стрелки направлены внутрь стержня), а от отливки в форму — расширяющийся (рис. 3.20). Поэтому при прочих равных условиях газопроницаемость стержней должна быть выше газопроницаемости формы. Для стержней при выборе минимально необходимой газопроницаемости смеси дополнительно учитывается коэффициент N конструктивной сложности стержня [7]:

$$N = S_{з.с}/(S_{к.м}l_{ф}),$$

где $S_{з.с}$ — площадь сечения знаков стержня; $S_{к.м}$ — поверхность стержня, контактируемая с металлом; $l_{ф}$ — длина пути фильтрации.

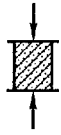
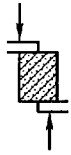
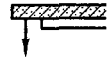
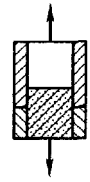
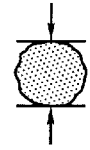
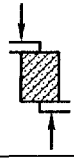
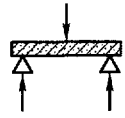
Для стержней первой группы сложности $N = 0{,}002$ и рекомендуемая газопроницаемость не менее 150 ед., а для стержней пятой группы коэффициент N выше 0,3 и рекомендуемая газопроницаемость не менее 40 ед.

Прочность. Важным свойством формовочной смеси является ее прочность, которую определяют как предел прочности при разрушении стандартного образца для выбранного вида нагружения. Прочность любой скелетной системы, к которой относятся формовочные и стержневые смеси, зависит от прочности связи между частицами в зоне контакта, площади и числа этих контактов. Контакт учитывается в том случае, если зерна наполнителя контактируют через пленку связующего.

Теоретически разрушение единичного контакта может быть адгезионным и развиваться по границе связующее — наполнитель и когезионным — развиваться по связующему. В частности, в песчано-глинистых смесях в большинстве случаев разрушение носит когезионный характер.

Пробы формовочных и стержневых смесей в массовом производстве отбирают для экспресс-анализа один-два раза в час. Из смеси изготовляют образцы цилиндрической формы диаметром 50 мм и высотой (50 ± 0,8) мм, а также образцы в виде восьмерок, сечение в месте разрыва которых составляет 2,5 × 2,5 см. Цилиндрические образцы испытываются на сжатие и раздавливание, а восьмерки — на растяжение (стержневые смеси). Кроме того, для стержневых смесей (ХТС и отверждаемых в нагретой

Таблица 3.36. **Схемы нагружений при испытаниях механических свойств смесей**

Состояние смеси, подвергаемой испытанию	Прочность формовочных и стержневых смесей в разных видах испытаний				
	Сжатие $\sigma_{сж}$	Срез $\tau_{ср}$	Изгиб $\sigma_{изг}$	Растяжение $\sigma_{раст}$	Раздавливание $\sigma_{разд}$
Влажное состояние					
Сухое состояние					

оснастке) проводят испытание на изгиб образцов квадратного сечения с размерами 25 × 25 × 200 мм. В табл. 3.36 представлены схемы испытаний механических свойств смесей.

Прочность должна обеспечивать целостность форм и стержней при любом виде нагружения. Примерные значения минимальной прочности на сжатие во влажном состоянии песчано-глинистых смесей следующие: формы для АФЛ — 0,1...0,2 Н/мм^2, для машинной формовки — 0,05...0,1 Н/мм^2. Для стержней средней сложности массой до 40 кг холоднотвердеющие смеси (ХТС) или смеси с тепловой сушкой должны иметь предел прочности при разрыве 0,8...1,0 Н/мм^2, для стержней массой 40...250 кг этот показатель составляет 1,2...1,5 Н/мм^2. У стержней, полученных в нагреваемой оснастке, прочность при растяжении (сразу после изготовления) должна быть не менее 0,25...0,3 Н/мм^2, а прочность при растяжении после охлаждения — 1,6...2,0 Н/мм^2.

Прочность ХТС, отверждаемых продувкой SO_2, CO_2, аминами и другими реагентами, первый раз определяют через 30...60 с после продувки и далее — через заданные интервалы времени. Важной характеристикой прочности ХТС является время отверждения, которое устанавливается в зависимости от характера производства, например для единичного и мелкосерийного производств оно равно 1...2 ч. Полную информацию о времени отверждения дает зависимость прочности от времени в интервале его изменения от 0,5...1 до 24 ч.

Для испытания механических свойств влажных и сухих образцов из формовочных и стержневых смесей используют прибор фирмы «Wadar» (Польша) с набором съемных приспособлений.

Разрушение литейных форм в основном происходит при растяжении, однако этот вид испытаний достаточно трудоемкий, поэтому при оценке прочности при растяжении зачастую пользуются соотношениями, которые получены экспериментально (например, соотношение прочностей при сжатии, срезе и растяжении может быть следующим — $\sigma_{сж}:\sigma_{ср}:\sigma_{раст} = 10:3:1$), и по прочности при сжатии судят о прочности при растяжении. Следует отметить, что соотношение между $\sigma_{сж}$ и $\sigma_{раст}$ зависит от состава смеси, уплотнения, прочности. Предел прочности при раздавливании $\sigma_{разд}$ в отличие от $\sigma_{сж}$ более определенно связан с $\sigma_{раст}$ и его легче определять в лабораторных условиях. Регрессионное уравнение взаимосвязи этих двух видов прочности, полученное статистической обработкой опытных данных по нескольким составам песчано-глинистых смесей [23] приведено к простому виду: $\sigma_{разд} = 0{,}66\ \sigma_{раст}$. Поэтому в литейных цехах при экспресс-анализе проводят испытание прочности на раздавливание.

Осыпаемость. Склонность смеси к разрушению поверхностного слоя при истирании характеризуется осыпаемостью. Испытания проводят в течение 1 мин на барабане диаметром 100...110 мм, образующая которого покрыта сеткой с ячейками 2,5 × 2,5 мм. Частота вращения барабана 60 мин$^{-1}$. Осыпаемость, %, определяют по уравнению

$$O_с = [(m_{исх} - m_{исп})/m_{исх}]100,$$

где $m_{исх}$ — исходная масса стандартного цилиндрического образца; $m_{исп}$ — масса стандартного цилиндрического образца после испытания.

Поверхностная прочность смеси (осыпаемость) влияет на брак по засорам при изготовлении отливок в сырых песчано-глинистых формах. Изменение осыпаемости для смесей на других связующих также связано с понижением или повышением влажности поверхностного слоя из-за испарения и поглощения влаги гигроскопичным связующим. Для песчано-глинистых смесей изменение осыпаемости связано с уменьшением влажности поверхностного слоя из-за испарения и нарушения оптимального соотношения долей глина : вода.

Скорость этих процессов зависит от влажности смеси, влажности воздуха и от температуры. У гигроскопичных связующих при относительной влажности воздуха, превышающей 80...85 %, влажность смеси в поверхностном слое растет, поверхностная прочность падает, и начинает проявляться значительная осыпаемость. Если связующее при хранении высыхает, то поверхностная прочность смеси зависит от его природы и способа отверждения. Самотвердеющие смеси с жидким стеклом и смолами, как правило, упрочняются при хранении. У этих смесей повышенная осыпаемость является признаком того, что стержень или форма изготов-

лены из смеси, частично потерявшей живучесть. При CO_2-процессе, особенно при «передуве» или пониженном содержании жидкого стекла, осыпаемость растет из-за развития напряжений в высыхающей сетке силикагеля. В производственных условиях для стабильной технологии осыпаемость не должна превышать 0,1...0,2 %.

Твердость. Данное свойство, характеризующее сопротивление поверхности уплотненной смеси внедрению в нее более твердого тела, не может отождествляться с поверхностной прочностью, но является косвенной характеристикой других свойств смеси, например ее прочности, которая напрямую коррелирует с твердостью.

Оценка твердости производится по ГОСТ 2189—62 для сырых и сухих образцов и форм. Для сырых образцов и форм применяют твердомер модели 04412А(071). При проведении испытания твердомер устанавливают на плоскую поверхность цилиндрического образца (формы) и нажимают на корпус. При этом шарик под действием пружины внедряется в смесь. Сила сопротивления внедрению сжимает пружину, перемещает наконечник и приводит в движение стрелку прибора. Шкала разбита на 100 делений (единиц). Глубина внедрения шарика изменяется в пределах 0...5 мм при максимальном усилии 1,0 кгс (9,81 Н). Чем сильнее уплотнена форма, тем бóльшие значения твердости показывает прибор. Твердомер используется для контроля уплотнения форм. Для машинной формовки твердость формы составляет 70...80 ед., для форм АФЛ — 85...95 ед.

Для контроля твердости сухих форм применяют твердомер модели 04421 Усманского завода. Оценка твердости производится по сопротивлению при погружении в образец ножевого наконечника на глубину 0...2,5 мм под нагрузкой 1,1...2,0 кгс (10,8... 19,6 Н). В качестве образца используется стандартный образец — «восьмерка». Испытанию подвергается поверхность образца, обращенная при его изготовлении к нижней подставке ящика. При проведении испытаний твердомер устанавливают опорной поверхностью на образец таким образом, чтобы нож находился слева от края образца. Затем твердомер равномерно перемещают слева направо вдоль образца, плотно прижимая его к поверхности образца.

Показания твердости фиксируются по отклонению стрелки на циферблате, устроенном по тому же принципу, что и в твердомере модели 04412А(071).

Пластичность. Способность уплотненных смесей деформироваться под действием нагрузки без разрушения и сохранять полученную деформацию после снятия нагрузки называется «пластичностью». Формовочные и стержневые смеси являются преимущественно хрупкими материалами, плохо сопротивляются растяжению и ударам, чувствительны к местным напряжениям. При уменьшении пластичности осложняются операции извлечения стержней из ящиков

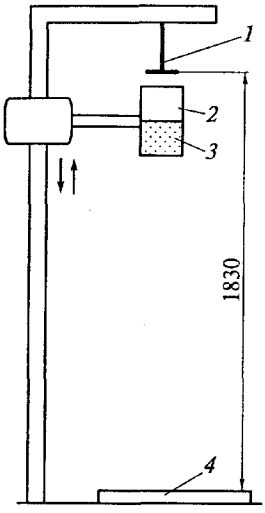


Рис. 3.21. Установка Shatter-control для определения пластических свойств смесей: *1* — толкатель; *2* — гильза; *3* — испытуемый образец; *4* — наковальня

и протяжки моделей и возникают поломки форм и стержней.

Измерение стрелы прогиба производится только при испытании на изгиб образца, изготовленного из стержневой смеси с $\sigma_{сж} > 0{,}5...1{,}0$ Н/мм^2. Для характеристик пластичности песчано-глинистых смесей используется показатель, называемый Shatter-index и определяемый на приборе модели 406631 PMT фирмы «G. Fischer». При этом испытуемый образец *3* (рис. 3.21), выталкиваемый толкателем *1* из гильзы *2*, с высоты 1830 мм падает на сетчатую наковальню *4* с размерами ячеек 13,2 мм и разрушается. Размер кусков зависит от пластичности. Масса разрушенного образца, не прошедшего через сетку, является мерой пластичности. Чем больше смеси на сетке, тем более пластичная смесь.

В производственных условиях для песчано-глинистых смесей мерой пластичности является соотношение $\sigma_{сж}/\sigma_р$, которое может колебаться в интервале 4... 12: чем выше этот критерий, тем смесь пластичнее. Наименьшее число дефектов форм наблюдается при соотношении $\sigma_{сж}/\sigma_р \geq 10...12$. Для холоднотвердеющих смесей (ХТС) $\sigma_{сж}/\sigma_р$ понижается по мере отверждения и из пластичной смесь превращается в хрупкую при значениях соотношения прочностей 5,00... 2,45.

Для песчано-смоляных ХТС в некоторых случаях определяется ударная вязкость на маятниковом копре на образцах для испытаний на изгиб со значениями ударной вязкости 0,05... 0,10 Дж/см^2.

Уплотняемость. Способность смеси уменьшать объем под действием приложенной внешней нагрузки характеризует такой показатель, как уплотняемость, %:

$$Упл = \frac{V_н - V_к}{V_н} 100, \qquad (3.17)$$

где $V_н$, $V_к$ — соответственно начальный и конечный объемы смеси, т.е. объем до и после уплотнения.

Как технологическое свойство уплотняемость используется в основном для песчано-глинистых смесей. При заданном составе уплотняемость линейно зависит от влажности.

Определение уплотняемости по методике, предложенной Ф. Гофманом (рис. 3.22), получило наибольшее распространение.

Испытуемая смесь *3* насыпается через воронку *2* и сито *1* с ячейкой 3×3 мм, установленное на треножной подставке *5*, в гильзу *4* диаметром 50 и высотой 100 мм. Излишек смеси срезается. Уплотнение осуществляется тремя ударами копра *6*.

Начальный $V_н$ и конечный $V_к$ объемы можно определить по уравнениям

$$V_н = FH \quad \text{и} \quad V_к = F(H - h).$$

После подстановки этих значений в уравнение (3.17) получим уплотняемость, %:

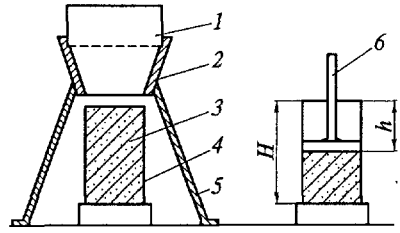


Рис. 3.22. Установка для определения уплотняемости смесей по Ф. Гофману:
1 — сито; *2* — воронка; *3* — смесь; *4* — гильза; *5* — подставка; *6* — копер; *H* — высота гильзы; *h* — высота осадки смеси в гильзе

$$Упл = \frac{FH - F(H - h)}{FH}100 = \frac{h}{H}100,$$

где F — площадь сечения гильзы; H — высота гильзы; h — высота осадки смеси в гильзе.

Высота гильзы принята равной 100 мм, т.е. уплотняемость по Гофману численно равна высоте осадки смеси в процентах:

$$Упл = h\,\%.$$

Насыпная плотность $\rho_н$, г/см^3, смеси определяется отношением ее массы $m_н$, засыпанной в гильзу высотой 100 мм через сито (или массой уплотненного образца после определения уплотняемости), к объему смеси, насыпанной в гильзу:

$$\rho_н = m_н/196.$$

Текучесть. Для характеристики внутреннего трения или сопротивления перемещению смеси в перпендикулярном действию нагрузки направлении используется показатель, называемый «текучестью». Для ее определения служит широко известная ступенчатая «проба Орлова», предложенная для уплотнения смеси при статическом прессовании (рис. 3.23). В стандартную металлическую гильзу *5* устанавливается вставка *2*, после чего засыпается смесь *4*, которую уплотняют тремя ударами копра *1*. Замеры твердости проводят в точках *А* и *Б*. Текучесть (*Т*) по Орлову, %, определяют как соотношение твердостей (*Тв*) в точках *А* и *Б* по уравнению

$$T = (Тв_А/Тв_Б)\,100.$$

Текучесть песчано-смоляных смесей определяют по методике, разработанной в АМО «ЗИЛ» (рис. 3.24). Навеска смеси (100 ± ± 0,5) г засыпается через воронку в трубу *1*. Далее открывают ши-

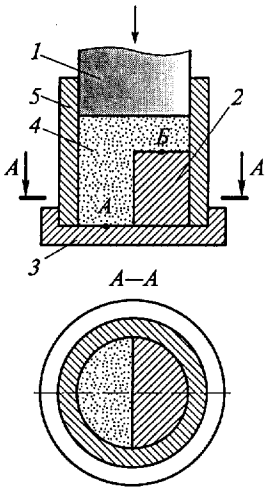


Рис. 3.23. Установка для определения текучести по Г. Орлову:

1 — копер (уплотняющий элемент); *2* — вставка; *3* — основание; *4* — смесь; *5* — гильза; *А*, *Б* — точки замера

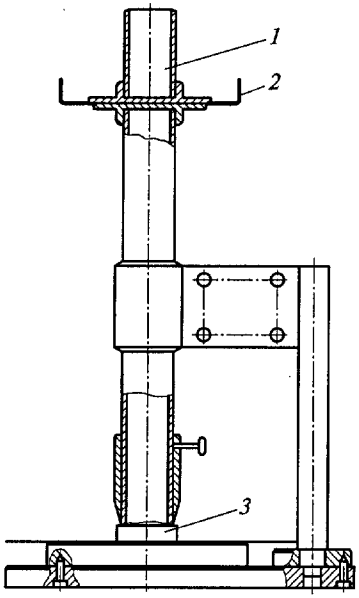


Рис. 3.24. Установка для определения текучести песчано-смоляных смесей по методике АМО «ЗИЛ»:

1 — труба; *2* — шибер; *3* — зазор

бер *2* прибора и сбрасывают смесь в вертикальную трубу диаметром 40 и высотой 500 мм. Смесь вытекает через зазор *3*, образованный между концом трубы и опорной металлической плитой. Текучесть T, %, определяют по уравнению

$$T = \frac{m_0 - m_1}{m_0} 100,$$

где m_0 — масса исходной навески смеси; m_1 — масса смеси, оставшейся в трубе.

Живучесть. Время, в течение которого смесь сохраняет свои технологические свойства, характеризует такой важный технологический показатель, как живучесть. Допустимой является только частичная потеря свойств в пределах 15...30 % исходных значений. Живучесть определяют по падению прочности или по точке перегиба на кривой зависимости уплотняемости от времени выдержки.

В первом случае определяют прочность в зависимости от времени выдержки готовой смеси в период от перемешивания до уплотнения через определенные интервалы времени, например через 3, 5, 10 мин и т.д. За живучесть принимают время выдержки, соответствующее падению прочности не более чем на 15...30 %.

Во втором случае уплотняемость смеси определяют по изменению высоты образца после уплотнения тремя ударами копра при постоянной массе смеси 160 г. Затем строят зависимость $Упл - \tau$ и находят точку перегиба, которая и определяет живучесть смеси и соответствует потери прочности не более чем на 15...30 %.

Упругая деформация. Способность смесей, главным образом песчано-глинистых, изменять свои размеры после снятия уплотняющей нагрузки характеризуется упругой деформацией. Упругую деформацию можно замерить на стандартном образце в гильзе. Несмотря на малые значения (примерно 0,25 % при давлении 10 Н/мм^2), упругая деформация приводит к защемлению отдельных частей формы в модели и обрыву болванов при съеме формы с модельной плиты, а также искажению рабочей полости формы и особенно ее лада. Названные явления усиливаются при использовании нежестких опок. Для повышения точности отливок и исключения возможности ухода металла по разъему опоки делают жесткими, например на АФЛ стенки опок делают коробчатыми.

Термические напряжения. Непосредственной причиной дефектов расширения типа ужимин (чем больше напряжения, тем сильнее смесь склонна к образованию ужимин (см. подразд. 15.5)) являются так называемые термические напряжения. Для их определения используют цилиндрические образцы разных размеров. На этих образцах измеряется нагрузка, которая будучи приложенной вдоль оси подавляет расширение нагреваемого образца. Значение этой нагрузки делят на площадь поперечного сечения образца и, таким образом, определяют собственно термические напряжения.

Горячая прочность. После выдержки образца при заданной температуре до его полного прогрева определяют так называемую «горячую прочность». На рис. 3.25 приведены зависимости горячей прочности σ от температуры для песчано-глинистой (*1*) и песчано-смоляной (*2*) смеси.

Песчано-глинистая смесь *1* имеет максимум прочности при 800...900 °С. Характер кривой *1* объясняется процессами упрочнения и разупрочнения, происходящими в смеси при высоких температурах. Кривая *2* характеризует прочность песчано-смоляной смеси. Видно, что уже при температурах 400 °С и выше происходит резкое падение прочности, и при 600 °С прочность приближается к нулю. Тем не менее при использовании стержней на этих смесях получают годные отливки, например, из чугуна. Чтобы ответить на вопрос, почему отливка получается годной, рассмотрим испытание на термостойкость.

Термостойкость. Данный важный показатель оценивается временем, в течение которого при нагружении давлением 0,15... 0,45 Н/мм^2 и при температуре 600...1000 °С испытуемый образец не разрушается. Это время затем сравнивают с временем образо-

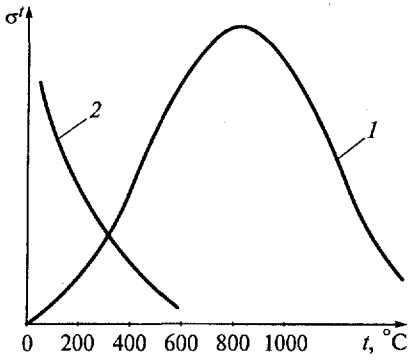


Рис. 3.25. Зависимости общей прочности σ' от температуры t смеси:
1 — песчано-глинистой; *2* — песчано-смоляной

вания твердой корки на поверхности отливки. Если термостойкость больше времени образования твердой корки, то вероятность получения годной отливки высокая. Необходимая термостойкость зависит от толщины стенки: чем больше толщина стенки, тем больше должна быть термостойкость. При недостаточной термостойкости может возникать брак по металлизации стержней, прорыву оболочковых стержней, уходу металла и разрушению формы. Для крупных отливок (с толщиной стенки более 100 мм) песчано-смоляные стержни не используют. Их применение возможно при более высокой, чем у кварцевого песка, теплопроводности огнеупорной составляющей (как, например, у циркона, хромита).

Свободное тепловое расширение смесей. Для определения данной характеристики смесей необходимо выполнить измерение изменения длины l образца при расширении в результате нагрева. На основании испытаний можно определить свободные тепловые деформации $\varepsilon_т$, %, по изменению размера Δl образца длиной l при каждой температуре по уравнению

$$\varepsilon_т = \frac{\Delta l}{l} 100.$$

Можно также определить температурный коэффициент линейного расширения, $К^{-1}$:

$$\alpha = \Delta l/(l\,\Delta T),$$

где ΔT — разность текущей и начальной температур образца.

Тепловое расширение и термические напряжения ответственны за ужимины в отливках. Чем они меньше, тем меньше вероятность образования ужимин (см. подразд. 15.5.2).

Податливость. Способность нагретой смеси деформироваться под действием давления характеризуется ее податливостью. При заливке сырых песчано-глинистых форм податливость является причиной подутия и ухудшения размерной точности, особенно в момент окончания заливки. Деформационная способность прочных форм и стержней (сухих и холоднотвердеющих) связана с торможением усадки и, следовательно, с образованием в отливках напряжений, горячих и холодных трещин.

Одним из способов определения деформационной способности сырых песчано-глинистых смесей является нагружение стандартного образца в гильзе нагретым до 1200 °С пуансоном. Для определения деформационной способности стержневых смесей используют дилатометры. При этом сразу после надвигания печи с заданной температурой на нагревающийся образец создается нагружение, начиная с давления 0,1...0,3 Н/мм^2 и до разрушения с записью перемещений.

Для подбора смесей в конкретных производственных условиях используют технологические пробы с целью определения склонности отливок к горячим трещинам.

В перечисленных выше испытаниях смесей на определение термических напряжений, горячей прочности, термостойкости, свободного теплового расширения и податливости используются приборы, называемые дилатометрами (от лат. *dilato* — расширяю), производства фирм «Dietert» (модель 753) и «G. Fischer» (модель РНТ).

Для определения термостойкости образец нагревается, к нему прикладывается нагрузка и замеряется время, в течение которого образец ее выдерживает.

Прочность в зоне конденсации. При заполнении сырой формы жидким металлом происходит испарение влаги из поверхностных слоев литейной формы. Водяные пары устремляются в глубь формы и, соприкасаясь с более холодными слоями формы, конденсируются, т. е. образуется зона конденсации влаги. Вследствие этого в слоях этой зоны возрастает влажность по сравнению с исходной и снижаются прочность и газопроницаемость. В зоне конденсации возникают напряжения отрыва сухой корки смеси от основной ее массы. Это может привести к браку по подутию отливок, к образованию «ужимин», а в условиях работы автоматических линий при использовании опок без крестовин и при перемещении формы без подопочного щитка — к разрушению форм и вываливанию отливки вместе со смесью из опоки.

Испытания прочности формовочных смесей в зоне конденсации проводят на приборе, принципиальная схема которого представлена на рис. 3.26.

Образец *6* готовят в специальной гильзе *7* с крышкой *5* (смесь уплотняют на копре тремя ударами до требуемой плотности, масса уплотненной смеси — (160 ± 15) г).

Гильзу *7* с испытуемым образцом устанавливают в приспособление, удерживающее ее. Для предотвращения влияния сил трения образца о стенки гильзы на результат испытания образец после нагрева выдвигается из гильзы выталкивателем *8*. Далее образец нагревают печью *2* с электронагревом, которая поднимается и опускается на крышку гильзы. Для фиксации печи по высоте и для обеспечения постоянного зазора 0,5 мм между крышкой *5* и жароупорной стальной пластиной *3* в нижней части служит упор.

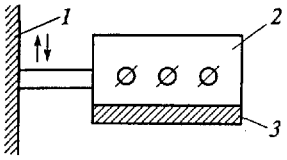
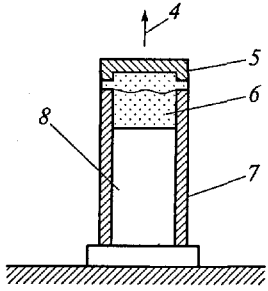


Рис. 3.26. Схема прибора для испытания прочности в зоне конденсации:

1 — траверса; *2* — печь; *3* — жароупорная пластина; *4* — направление разрывающего усилия; *5* — крышка; *6* — образец; *7* — гильза; *8* — выталкиватель



Печь укреплена на траверсе *1* и может перемещаться вниз и вверх (показано стрелками). Температура рабочей поверхности печи при испытании (900...1000 °С) измеряется хромель-алюмелевой термопарой и регулируется трансформатором.

После нагрева в течение около 25 с (при влажности испытуемого образца 4,5 %) расстояние от поверхности образца до зоны конденсации составит 5,1 мм. Когда эта зона будет находиться в образце между крышкой *5* и краем гильзы *7*, печь *2* поднимают и с помощью разрывного устройства с захватами разрывают образец по зоне конденсации.

Величина прочности смеси в зоне конденсации определяется в Н/мм^2, и по данному показателю бентонитовые глины подразделяются на четыре группы (см. подразд. 3.3.1).

Прочность в зоне конденсации можно повысить применением активированного бентонита или простым добавлением соды в бегуны, что менее эффективно, а также добавлением в смесь волокнистых добавок, которые играют роль упрочняющих связей в зоне конденсации (см. подразд. 15.5).

Остаточная прочность. При нагреве и охлаждении смесей важна остаточная прочность, которая характеризует их выбиваемость. Определение остаточной прочности при сжатии проводят в лабораторных условиях на стандартных образцах, которые предварительно нагревают в печи до заданной температуры, выдерживают и охлаждают вместе с печью. Рекомендуемое время выдержки для лабораторных испытаний 1 ч. Принято считать, что при остаточной прочности до 1,5...2,0 Н/мм^2 смесь выбивается удовлетворительно, а при прочности более 3 Н/мм^2 — плохо. Наряду с прямыми измерениями прочности для определения выбиваемости пользуются технологическими пробами, в которых образец пробивается или просверливается после нагрева и охлаждения в гильзе или опытной отливке с переменным соотношением толщин стенок стержня и отливки. В этих случаях мерой выбиваемости является работа выбивки (метод ЦНИИТмаша) или время сквозного сверления залитого стержня [52].

Гигроскопичность. Способность смесей поглощать влагу из воздуха с соответствующим изменением технологических свойств характеризуется гигроскопичностью материалов. Поглощение влаги происходит вследствие наличия у связующих сорбционной способности, которой в той или иной степени обладают большинство литейных связующих. Наиболее гигроскопичны гидрофильные (водорастворимые) связующие — карбамидные, карбамидфурановые смолы, технические лигносульфонаты. С гидрофобными связующими смесь насыщается влагой медленно, с гидрофильными — быстрее. Прямое измерение гигроскопичности смеси проводят, помещая стандартные образцы в герметизированный эксикатор, частично заполненный серной кислотой. Предварительно образцы взвешивают, часть из них испытывают на прочность. В эксикаторе устанавливают необходимую относительную влажность, для чего выбирают определенную концентрацию серной кислоты. После выдержки в течение заданного времени взвешиванием определяют увеличение массы образца и его прочность.

Используют также метод, по которому образцы для определения прочности на изгиб или растяжение выдерживают непосредственно в закрытой форме из сырой песчано-глинистой смеси, а далее проводят определение его прочности.

ГЛАВА 4

МОДЕЛЬНО-СТЕРЖНЕВАЯ ОСНАСТКА И ОПОКИ

К модельно-стержневой оснастке относятся: модели, стержневые ящики, модельные плиты и другое технологическое оснащение, используемое для изготовления литейной формы.

4.1. МОДЕЛЬНО-СТЕРЖНЕВАЯ ОСНАСТКА

Модельно-стержневую оснастку часто называют «модельным комплектом», в который входят: модельные плиты с моделями и элементами литниковой системы, стержневые ящики для изготовления стержней для конкретной отливки.

Модельно-стержневая оснастка служит для формирования внутренних и внешних поверхностей отливки. От точности ее изготовления во многом зависит точность отливки. Согласно ГОСТ 3212—92 установлены девять классов точности 1—9 изготовления модельных комплектов (табл. 4.1), которые взаимоувязаны с допусками размеров отливок по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.). Класс точности модельного комплекта назначается в соответствии с классом точности размеров отливок (табл. 4.2).

Таблица 4.1. **Допуски размеров модельных комплектов (МК)**

Интервал номинальных размеров МК, мм	Допуски размеров МК, мм, по классам точности								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
До 10	0,04	0,07	0,11	0,18	0,28	0,44	0,72	1,00	—
Свыше 10 до 16	0,05	0,08	0,13	0,20	0,32	0,50	0,80	1,26	—
Свыше 16 до 25	0,06	0,09	0,14	0,22	0,36	0,56	0,90	1,44	2,2
Свыше 25 до 40	0,07	0,10	0,16	0,25	0,40	0,64	1,00	1,60	2,5
Свыше 40 до 63	0,08	0,11	0,18	0,28	0,44	0,72	1,14	1,80	2,8
Свыше 63 до 100	0,09	0,13	0,20	0,32	0,50	0,80	1,26	2,00	3,2
Свыше 100 до 160	0,10	0,14	0,22	0,36	0,56	0,90	1,44	2,20	3,6
Свыше 160 до 250	0,11	0,16	0,25	0,40	0,64	1,00	1,60	2,50	4,0
Свыше 250 до 400	0,13	0,18	0,28	0,44	0,72	1,14	1,80	2,80	4,4
Свыше 400 до 630	0,16	0,20	0,32	0,50	0,80	1,26	2,00	3,20	5,0
Свыше 630 до 1000	—	0,22	0,36	0,56	0,90	1,44	2,20	3,60	5,6

Окончание табл. 4.1

Интервал номинальных размеров МК, мм	Допуски размеров МК, мм, по классам точности								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Свыше 1000 до 1600	—	0,28	0,40	0,64	1,00	1,60	2,50	4,00	6,4
Свыше 1600 до 2500	—	—	0,44	0,72	1,14	1,80	2,80	4,40	7,2
Свыше 2500 до 4000	—	—	0,64	0,80	1,26	2,00	3,0	5,0	8,0
Свыше 4000 до 6300	—		—	1,00	1,44	2,20	3,60	5,60	9,0
Свыше 6300 до 10000	—	—	—	—	1,80	2,80	4,40	7,20	11,4
Свыше 10000	—	—	—	—	2,40	3,60	5,60	9,00	14,4

Таблица 4.2. **Взаимосвязь классов точности размеров модельных комплектов с классами точности размеров отливок по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)**

Класс точности размеров отливки по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)	Класс точности модельного комплекта (МК)
4, 5т	1
5, 6	2
7, 7т	3
8, 9т	4
9, 10	5
11т, 11	6
12, 13т	7
13, 14	8
15, 16	9

Для обозначения материала и точности модельного комплекта (МК) используют запись, например, следующего вида:

Точность МК5 — металл ГОСТ 3212—92,

которая означает: металлический модельный комплект класса точности 5 по ГОСТ 3212—92. Запись:

Точность МК8 — дерево ГОСТ 3212—92

означает: деревянный модельный комплект класса точности 8 по ГОСТ 3212—92.

По типу материала модельные комплекты для изготовления отливок подразделяются на деревянные, металлические и пластмассовые. Кроме точности изготовления и шероховатости поверхности к модельным комплектам предъявляются требования по стойкости к износу в процессе эксплуатации. В массовом производстве отливок необходимо иметь несколько дублеров модельных комплектов. В технологическое оснащение входят также подопочные плиты, сушильные плиты (драйеры), литейный инструмент (см. гл. 6). Как правило, деревянные модельные комплекты применяют в единичном или мелкосерийном производстве, пластмассовые — в мелкосерийном или серийном, а металлические — в крупносерийном или массовом производстве.

4.2. ДЕРЕВЯННЫЕ МОДЕЛИ И СТЕРЖНЕВЫЕ ЯЩИКИ

Деревянные модели изготовляют из сосны, ели, лиственницы, сложные стержневые ящики — из липы. Для облицовки моделей используют бук, ясень, клен. Наиболее изнашиваемые части изготовляют из металла или облицовывают листовым железом.

Перед употреблением заготовленные доски сушат в естественных условиях (до двух лет), но чаще прибегают к искусственному высушиванию в сушильных камерах. Во избежание растрескивания досок при такой сушке их предварительно пропаривают, для чего в камеру подают пар. После пропаривания включают вентилятор и постепенно повышают температуру в камере. В среднем древесина сушится 3...12 сут. Большее время соответствует сушке твердых пород древесины.

Для изготовления модельной оснастки древесина должна содержать не менее 8 и не более 11 % влаги. Следует также учитывать возможность коробления досок в результате усушки. Изменение их размеров в процессе усушки оказывается наименьшим по длине ствола — 0,1...0,3 %, в радиальном направлении изменение размеров 3...6 %, в тангенциальном — 6...12 %.

При изготовлении модели по рабочему чертежу детали модельщик увеличивает все размеры на величину усадки сплава, из которого будет изготовлена отливка.

Если отливка предназначена к механической обработке, то на соответствующих поверхностях модели предусматривают припуск согласно ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.). Формовочные уклоны выполняют с учетом ГОСТ 3212—92.

По прочности изготовления деревянные модели подразделяют на три класса.

По первому классу изготовляются модели, предназначенные для серийного производства и для получения промоделей (например, металлических моделей). Для промодели необходимо учитывать двойную усадку — сплавов модели и отливки.

Материалом для моделей первого класса служит выдержанное дерево твердых пород: бук, клен или мелкослойная сосна. У больших моделей всю основную часть выполняют из сосны, а острые углы модели и выступающие ее части (приливы, ребра и др.) — из бука, клена, а в отдельных случаях из цветного металла (латуни, алюминия).

По второму классу изготовляются модели для ограниченного числа формовок. В этом случае используют материал пониженного качества и более мягких, чем в предыдущем случае пород дерева (ольху, липу, сосну).

По третьему классу изготовляют модели для разовых отливок. Материалом большей частью служит сосна, иногда ель

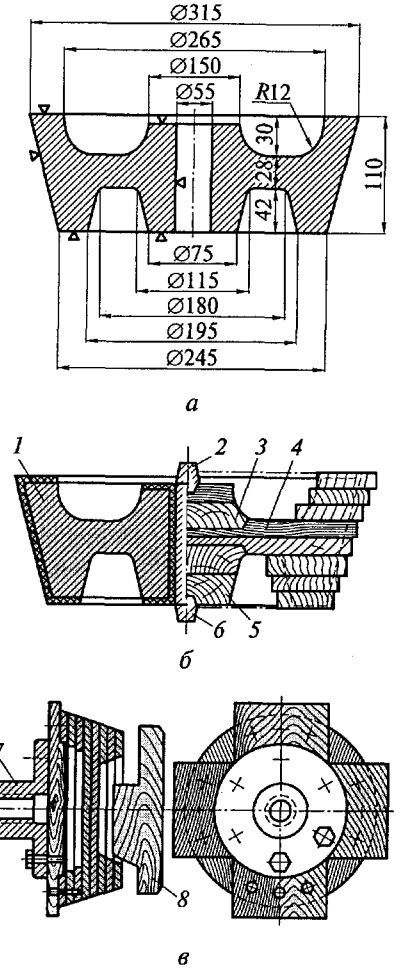


Рис. 4.1. Технология изготовления конического катка:

а — отливка; *б* — модель; *в* — обработка заготовки; *1* — обод катка; *2, 6* — знаки модели; *3, 5* — части ступицы; *4* — диск; *7* — планшайба; *8* — шаблон

К этому классу относят и скелетные модели. Модели третьего класса в большинстве случаев по окончании формовки уничтожают.

Изготовленный по первому классу подопочный щиток склеен из трех рядов щитков, причем если в верхнем и нижнем щитках долевые волокна имеют одинаковую направленность, то в среднем щитке они перпендикулярны им.

Щиток, изготовленный по второму классу прочности, имеет два ряда досок с поперечными планками по краям, а щиток третьего класса прочности выполняют из целиковой доски. Следует отметить, что для склеивания щитка первого класса прочности используются узкие доски, а для второго и тем более третьего классов — более широкие доски. Склеенные из широких досок щитки коробятся, тогда как щитки, склеенные из более узких досок, практически не подвержены короблению.

На рис. 4.1 показан пример технологии изготовления модели для отливки детали конического катка (рис. 4.1, *а*) [46].

Первоначально чертеж детали с нанесенной технологией (припуски на механическую обработку, разъем отливки и формы, стержни со знаками и зазорами в них, точность, ТУ и т.д.) переносится на фанерный лист (щиток) без изменений, но с учетом формовочных уклонов и размеров по усадочному метру. Щиток необходим для определения составных частей модели, используемых при склеивании заготовки. После этого определяют порядок изготовления и соединения отдельных частей модели (рис. 4.1, *б*). Слева от оси изображен чертеж модели, а справа вычерчена заго-

товка и намечена технология изготовления отдельных частей модели. Для того чтобы модель была прочной, обод *1* катка изготовляют из сегментов в три ряда, по шесть штук в ряду, а диск *4* катка и части ступицы *3*, *5* склеивают из двух слоев с взаимноперпендикулярным направлением долевых волокон. Все части изготовляют и соединяют в соответствии с чертежом на щитке.

Сначала вытачивают знаки *2* и *6*, затем части *3* и *5* ступицы, в которых вытачивают углубления по диаметру шипов знаков. Далее

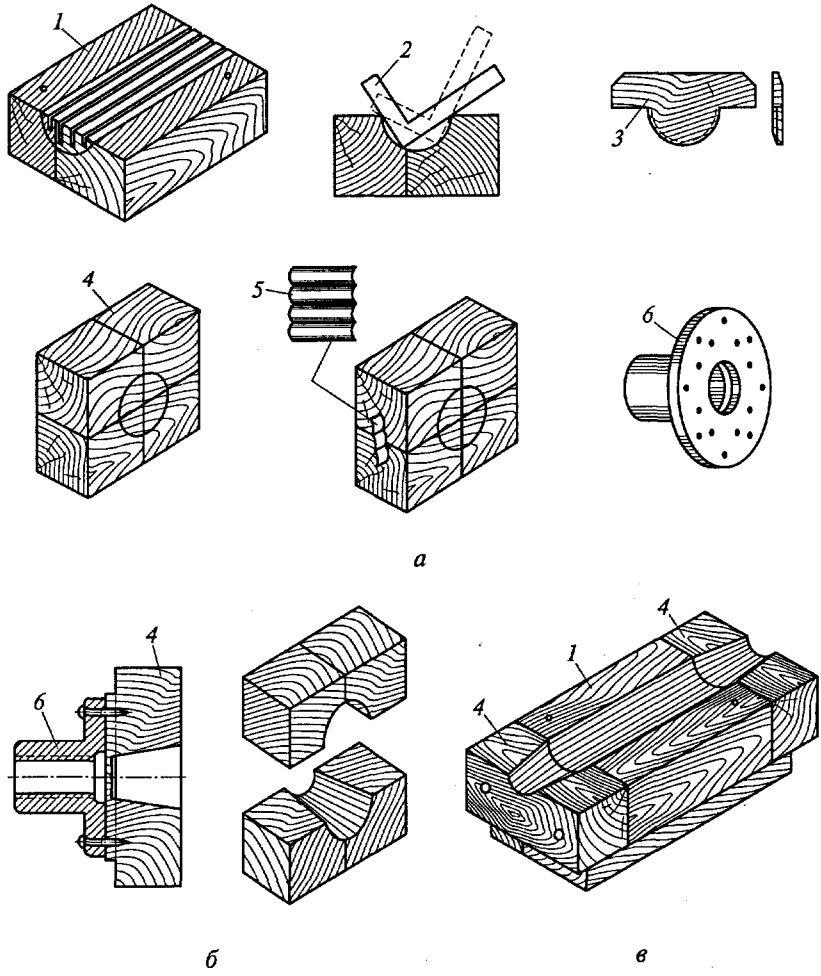


Рис. 4.2. Стержневой ящик для катка:

а — операции по изготовлению рабочей части; *б* — операции по изготовлению знаков; *в* — половина стержневого ящика в сборе; *1* — рабочая часть ящика; *2* — угольник; *3* — шаблон; *4* — знаковые части ящика; *5* — гребенка; *6* — патрон для крепления частей ящика при обработке

обтачивают основную заготовку катка по размерам, указанным на чертеже модели, а углубления для центрирования частей ступицы — по диаметру и толщине шипа. Заготовку обтачивают при помощи деревянного креста, привернутого к планшайбе *7* (рис. 4.1, *в*). Для контроля внутреннего диаметра используют шаблон *8*. Часть *5* ступицы приклеивают к диску *4*, а часть *3* для удобства формовки делают отъемной.

На рис. 4.2 показаны некоторые операции изготовления стержневого ящика. Стержневой ящик изготовляют из двух половин. Вначале заготовляют два бруска для рабочей части ящика *1* с цилиндрическим отверстием, выстругивают боковые стороны под угольник, спаривают бруски, устанавливают шипы и размечают контур отверстия. После разметки в половинках ящика делается долевой пропил, при помощи полукруглой стамески выбирается цилиндрическое отверстие по угольнику *2* или шаблону *3*, которое затем зачищают шкуркой. Знаковые части *4* стержневого ящика составляют из четырех частей, склеивают, по разъему прокладывают бумагу для исключения повреждения при распаривании обработанных половинок, вбивают гребенки *5*, закрепляют на патроне *6* и обрабатывают на станке. Центрируют половины стержневого ящика соединительными шипами (дюбелями).

Изготовление форм и стержней по деревянной оснастке описано в гл. 6 и 8.

4.3. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, МОДЕЛЬНЫЕ ПЛИТЫ И СТЕРЖНЕВЫЕ ЯЩИКИ

Металлическая модельная оснастка применяется только в условиях крупносерийного и массового производства. В этом случае затраты на изготовление металлической модельной оснастки полностью окупаются, резко возрастают геометрическая точность отливок и точность их размеров.

4.3.1. Металлические модели

Материалом для изготовления моделей и стержневых ящиков служат алюминиевые сплавы АК5М2, АК5М7, АК7М2 и др. (ГОСТ 1583—93), серый чугун СЧ15, СЧ20 (ГОСТ 1412—70), литейные латунь и бронза, сталь марок 15Л—45Л (ГОСТ 977—88).

Заготовки отливают, например, из алюминиевого сплава, для чего сначала изготовляется деревянная модель (мастер-модель). В мастер-модели учитывается двойная усадка, например, алюминиевого сплава, из которого будет исполнена модель, и сплава, например, чугуна, из которого будет изготовляться отливка.

В сырых песчано-глинистых формах отливают две половинки модели, которые обрабатывают по разъему, собирают между собой, исключая смещение, зажимают струбциной и просверливают сквозные отверстия (диаметром 5...6 мм) предпочтительно в знаковых частях модели. В эти отверстия загоняют штифты, а струбцины снимают. В таком виде модель подвергают механической обработке на станках, затем штифты удаляют, половинки модели разъединяют и приступают к их монтажу на модельных плитах верха и низа.

В массовом производстве металлические оснастки выполняют по односторонним (опочная формовка) и двусторонним (безопочная формовка) модельным плитам.

4.3.2. Модели стояков, воронок и чаш

При ручной формовке используются модели стояков, как правило, деревянные, расширяющиеся за счет уклона кверху. При машинной и автоматической формовке модели стояков *1* металлические, имеют обратный уклон и крепятся к модельной плите *2* (рис. 4.3, *а*, *б*).

При ручной формовке воронку вырезают, не вынимая модель деревянного стояка. В некоторых случаях вырезают небольшую чашу-

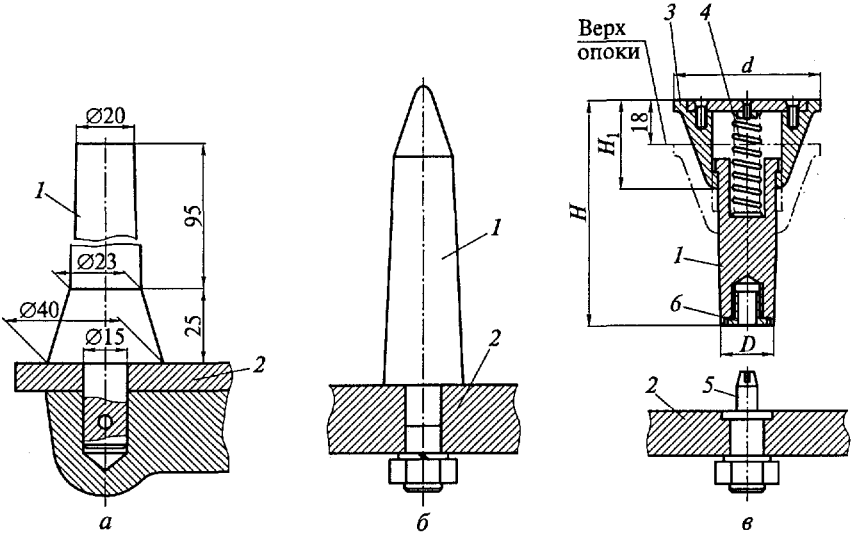


Рис. 4.3. Модели стояков и варианты их крепления к модельной плите:

а, *б* — стояк, прикрепленный к модельной плите соответственно штифтом и гайкой; *в* — пружинный стояк; *1* — стояк; *2* — модельная плита; *3* — воронка; *4* — пружина; *5* — каленый штырь; *6* — каленая втулка; *H*, *D* — высота и диаметр пружинного стояка; H_1, *d* — высота и диаметр воронки

воронку. При машинной формовке модели воронок и чаш с отверстием под стояк крепят к прессовой плите. При этом в форме в месте перехода от воронки к стояку обязателен небольшой уступ, так как модель воронки с отверстием под обратный стояк сделать «на нет» невозможно. При больших расходах металла, т. е. для крупных отливок, используют чаши-нарощалки, которые изготовляют в специальных стержневых ящиках из стержневой смеси.

На автоматических формовочных линиях воронки и чаши могут быть отфрезерованы специальной фрезой. Иногда при машинной формовке (в основном, безопочной) применяют стояк *1* с подпружиненной воронкой *3* для опок с высотой до 125 мм (рис. 4.3, *в*) [32]. В стояк *1* запрессовывается каленая втулка *6*, а к модельной плите *2* крепится каленый штырь *5*. Перед формовкой верхней опоки стояк устанавливают на модельную плиту и уплотняют верхнюю полуформу встряхиванием, при этом воронка *3* выходит за уровень контрлада опоки. При подпрессовке прессовая колодка сжимает пружину *4* и воронка утапливается, что способствует лучшему уплотнению смеси вокруг воронки, предотвращая размыв смеси при заливке металла. После снятия прессовой колодки пружина выталкивает воронку, и так называемый «пружинный стояк» извлекают вручную.

4.3.3. Модельные плиты

Модельные плиты для встряхивающих формовочных машин регламентируются ГОСТ 20084—74 — ГОСТ 20131—74. Выбор плиты определяется типом машины, а также размерами и числом моделей, которые необходимо на ней разместить. Чрезмерная загруженность модельной плиты моделями и развитой литниковой системой может привести при формовке к подрыву формы, а при недостаточной загруженности модельной плиты снижается такой производственный показатель, как съем отливок с готовой формы. Практика показывает, что средняя загруженность моделями на модельных плитах опочной формовки составляет 40 %.

Модельную плиту монтируют на столе формовочной машины с использованием переходной плиты, которая закреплена на столе машины. На рис. 4.4 приведен сборочный чертеж крепления модельной плиты серии 0241—0280 ГОСТ 20090—74 размером 800×700 мм с опокой на столе встряхивающей машины. На модельной плите размещены два штыря — круглый (центрирующий) и квадратный (направляющий), по которым опока устанавливается на эту плиту. Теоретически допустима установка на модельной плите двух круглых штырей, но так как при работе в паре с направляющей втулкой опоки контакт у круглого штыря линейный, он быстро изнашивается, тогда как у квадратного штыря контакт осуществляется по плоскости и износ штыря меньше.

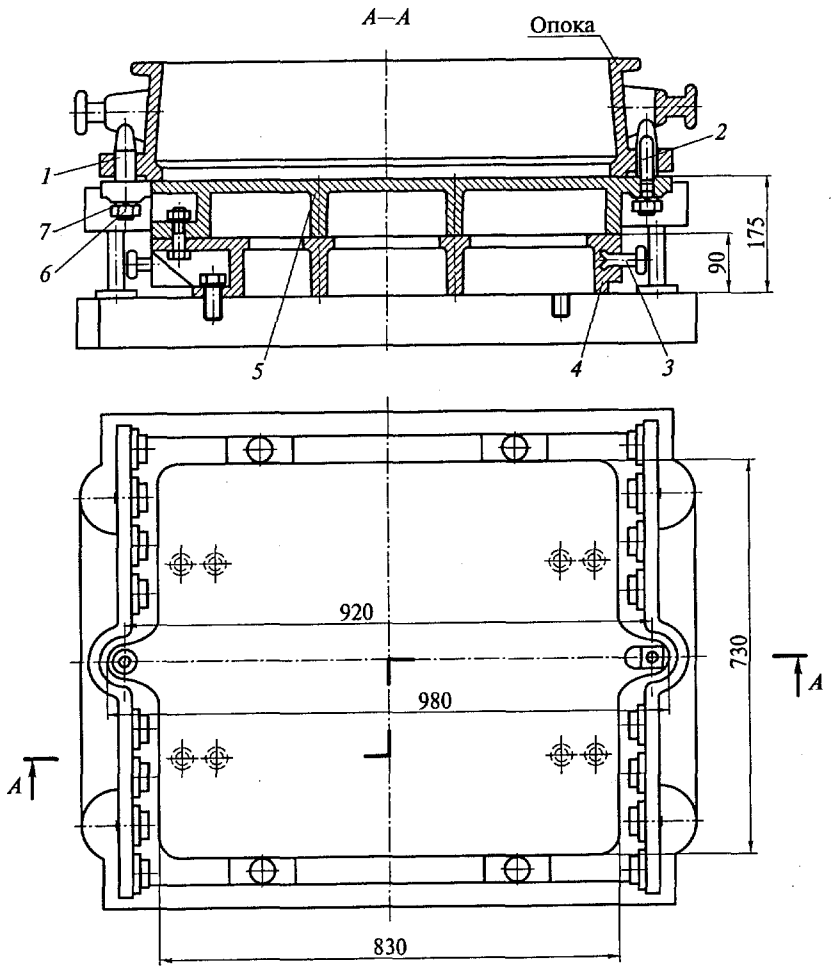


Рис. 4.4. Сборочный чертеж крепежа модельной плиты с опокой на столе формовочной машины:

1 — штырь центрирующий; *2* — штырь направляющий; *3* — цапфа; *4* — плита переходная; *5* — плита модельная; *6* — гайка; *7* — пружинная шайба

Кроме того, квадратный штырь можно повернуть на 90° и продлить срок его эксплуатации.

Конструкции наиболее часто используемых центрирующего и направляющего штырей изображены на рис. 4.5. Размеры штырей должны соответствовать указанным на чертеже и в табл. 4.3 [28].

Рассмотрим последовательность монтажа моделей на модельной плите на примере отливки типа «гильза» длиной L, наружным диаметром D и внутренним d_0 с припуском Z (рис. 4.6, *а*). Модели половин тела гильзы изготовляют в сырых песчано-гли

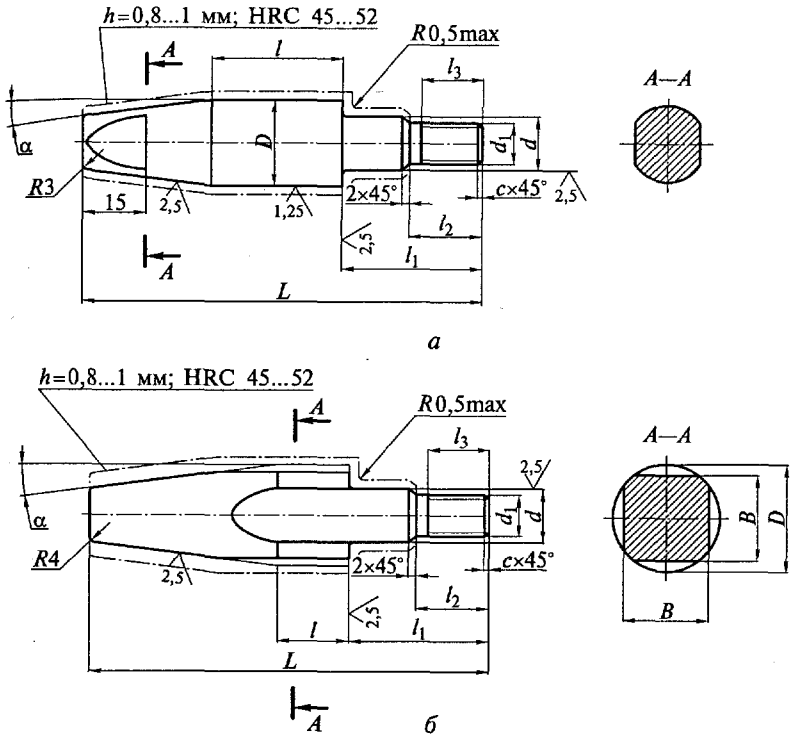


Рис. 4.5. Центрирующий (*а*) и направляющий (*б*) штыри на модельных плитах:

$D(B)$, L, S, l, l_1, l_2, l_3, d, d_1, α — размеры штырей (см. табл. 4.3)

нистых формах. Готовые половины моделей обрабатывают по плоскости разъема, совмещают по контуру, скрепляют струбцинами и просверливают отверстия диаметром 5...6 мм в знаковых частях модели с расстоянием l между ними (рис. 4.6, *б*). В отверстия забивают штифты (рис. 4.6, *в*), снимают струбцины и механически обрабатывают модели в соответствии с чертежом. Далее их монтируют на модельной плите.

Таблица 4.3. **Выбор и определение размеров штырей**

Средний габаритный размер опок в свету $(L+B)/2$	Размеры штырей, мм								
	$D(B)$	L	l	l_1	l_2	l_3	d	d_1	α, °
До 750	25	120 160 200	40 70 100	42	24	20	16	M12	5 3 2
Свыше 750 до 1500	30	130 170 210	50 80 110	52	28	22	20	M16	5 3 2

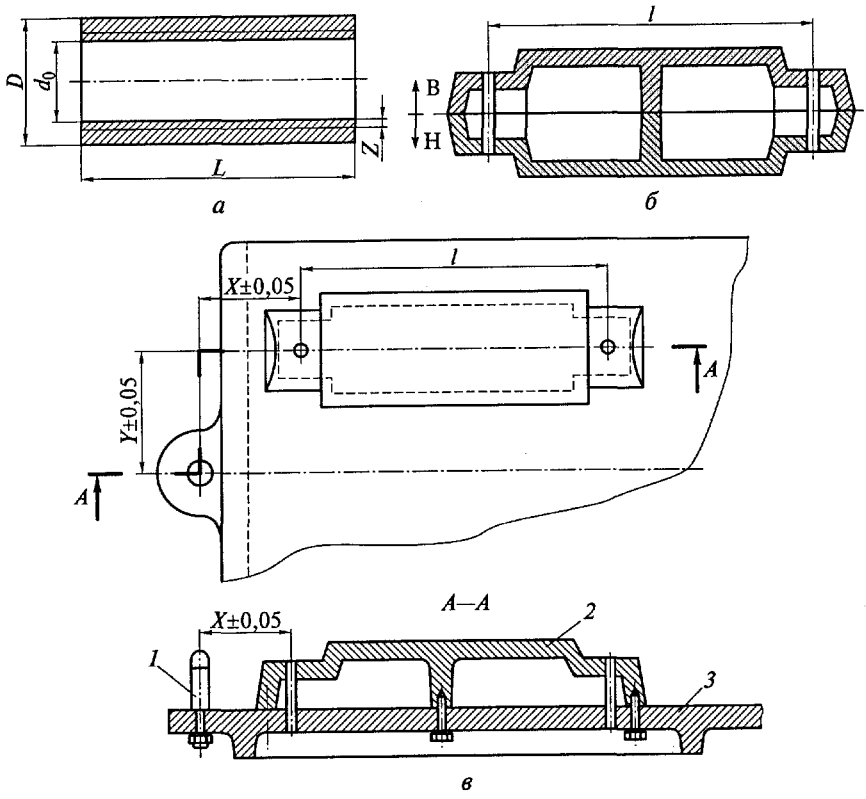


Рис. 4.6. Эскиз изготовления модели гильзы и ее монтажа на модельной плите:

а — отливка; *б* — модель в сборе перед обработкой; *в* — схема монтажа моделей на плите; *1* — центрирующий штырь; *2* — половина модели; *3* — модельная плита; *L*, *l*, *D*, d_0, *Z* — размеры гильзы; *X*, *Y* — помечаемые расстояния для отверстий под штифты; В, Н — верх и низ модели

В некоторых случаях перед монтажом проводят разметку модельной плиты относительно круглого центрирующего штыря. При этом помечают два расстояния *X*, *Y* для каждого отверстия под штифты модели, после чего их просверливают в модельной плите. Затем две модельные плиты низа (Н) и верха (В) состыковывают, в них сверлят отверстия под штыри, в которые вставляют чистовые болты. Далее сверлят отверстия в верхней плите через отверстия нижней, как по кондуктору. Монтаж моделей верха и низа ведут по отверстиям, для чего в них забивают штифты. Модель жестко крепится к плите с помощью болтов или винтов, при этом используется пружинная шайба.

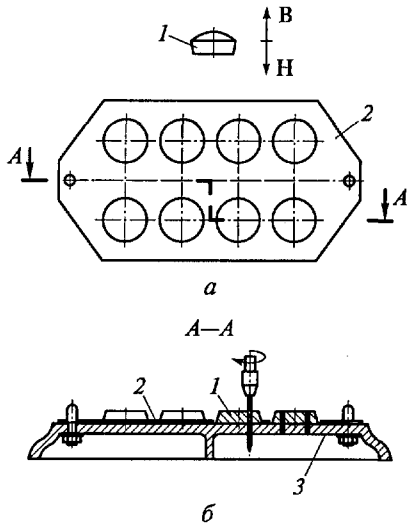


Рис. 4.7. Схема монтажа моделей с помощью кондуктора:

а — кондуктор; *б* — сверление отверстий в модельной плите; *1* — модель; *2* — кондуктор; *3* — модельная плита; В, Н — верх и низ модели

Чаще всего в массовом производстве, когда изготовляют несколько дублеров, монтаж моделей выполняют с помощью кондукторов *2* (рис. 4.7), представляющих собой стальной лист толщиной 3...5 мм с размерами модельной плиты в плане. В нем высверливают отверстия под штыри и вырезают окна по профилю проекции модели *1* на модельную плиту *3*. Калибр поочередно, если проекции модели верха и низа одинаковые, устанавливают на модельные плиты верха и низа, в окна устанавливают модели, по моделям как по кондуктору сверлят в плитах отверстия и забивают в них штифты (рис. 4.7, *б*), затем крепят к плите с помощью болтов (винтов).

Все элементы литниковой системы монтируют на модельной плите после того как выполнен монтаж модели.

4.3.4. Стержневые ящики

Полость стержневого ящика соответствует внешним очертаниям стержня со знаковыми частями. Исполнительные размеры полости ящика выполняются бóльшими на величину усадки по сравнению с номинальными размерами отливки. Для свободного извлечения стержня из стержневого ящика на вертикальных поверхностях предусмотрены литейные уклоны. Важным элементом ящика, определяющим его прочность, являются стенки. При выборе толщины стенок и других размеров стержневого ящика исходят из среднего габаритного размера в соответствии с ГОСТ 13138—67 (табл. 4.4 и рис. 4.8). Для исключения быстрого износа плоскость разъема алюминиевых ящиков бронируют стальным листом толщиной 1,5...2,0 мм.

Таблица 4.4. **Размеры конструктивных элементов стержневых ящиков, мм**

$(A+B)/2$ или D	t		E		H		h_1		r
	Al-сплавы	Чугун	Al-сплавы	Чугун	Al-сплавы	Чугун	Al-сплавы	Чугун	
До 160	8	6	18	16	12	8	20	10	5
Свыше 160 до 200	9		20	18	12	9	25	20	8
Свыше 200 до 250	10	8	22	20	12	10	32	25	
Свыше 250 до 320	11		25	22	14	12	40	32	12
Свыше 320 до 400	12	10	28	25	16	14	50	40	
Свыше 400 до 500	14		32	28	18	16	60	50	15
Свыше 500 до 630	16	12	36	32	20	18	80	60	
Свыше 630 до 800	18		40	36	22	20	100	80	

Открытые ящики снабжены ручками, которые могут быть литыми (рис. 4.9, *а*) либо залитыми (рис. 4.9, *б*), или залитыми цапфами (рис. 4.9, *в*). Разъемные алюминиевые ящики должны иметь

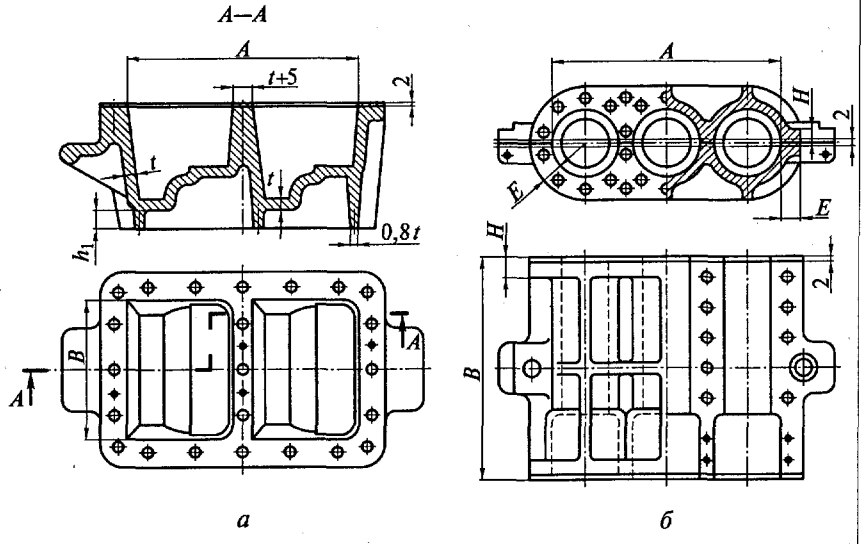


Рис. 4.8. Конструкция стержневого ящика открытого (*а*) и закрытого (*б*) типа:

A, *B*, *t*, *E*, *H*, h_1 — размеры конструктивных элементов (см. табл. 4.4)

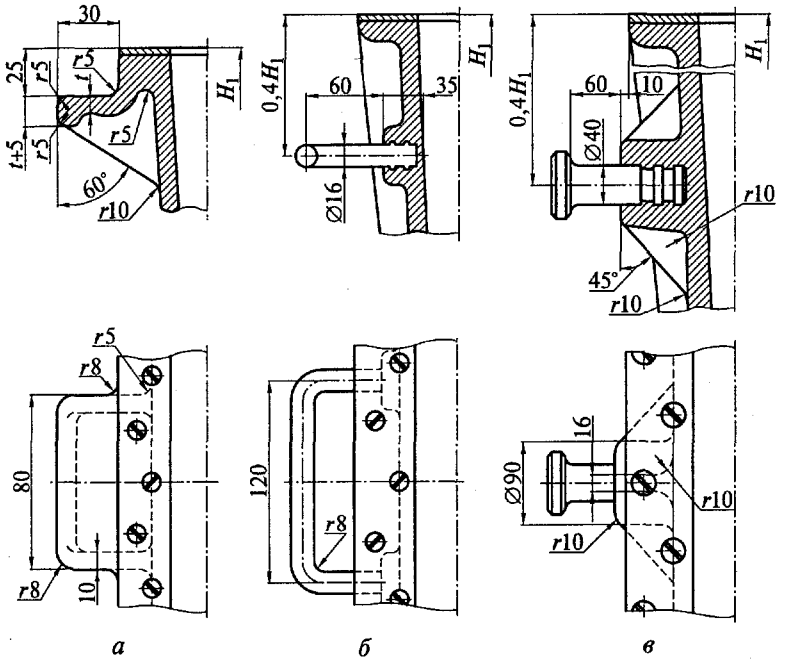


Рис. 4.9. Конструкция ручки для стержневых ящиков:

а — литая; *б* — залитая; *в* — залитая цапфа; *t*, H_1 — размеры ящиков

центрирующие штыри регулируемые (рис. 4.10, *а*, *б*) или нерегулируемые (рис. 4.10, *в*) и устройства для их крепления: откидной болт с гайкой-барашком (см. рис. 4.10, *а*), откидная скоба (кривошип) (см. рис. 4.10, *б*).

Стержневые ящики из алюминиевых сплавов (рис. 4.11) применяются для ручной и машинной формовки стержней, однако ящики для машинной формовки упрочняются и дополняются приливами для крепления к столу машины. Для фасонных стержней применяют открытые ящики (рис. 4.11, *а*, *б*), открытые ящики с вертикальным разъемом (рис. 4.11, *в*). В некоторых случаях для открытых ящиков используют вкладыши *2* в плоскости уплотнения (см. рис. 4.11, *б*), которые запрессовываются в стержневую смесь после заполнения ящика. Для образования углублений в стержне открытые ящики с вертикальным разъемом делают с отъемным дном *3* в виде вкладыша (рис. 4.11, *г*). Ящики с горизонтальным разъемом уплотняют: открытый (рис. 4.11, *д*) — с торцов; глухой (рис. 4.11, *е*) — отдельно верхнюю и нижнюю половины с последующим их соединением по штырям *4*. Открытый стержневой ящик из алюминиевого сплава (рис. 4.11, *ж*) может состоять из основного корпуса *5* и вкладышей *6* и *7*. Вкладыши соединяют с корпусом чаще всего с использованием «ласточкина хвоста». Конструк-

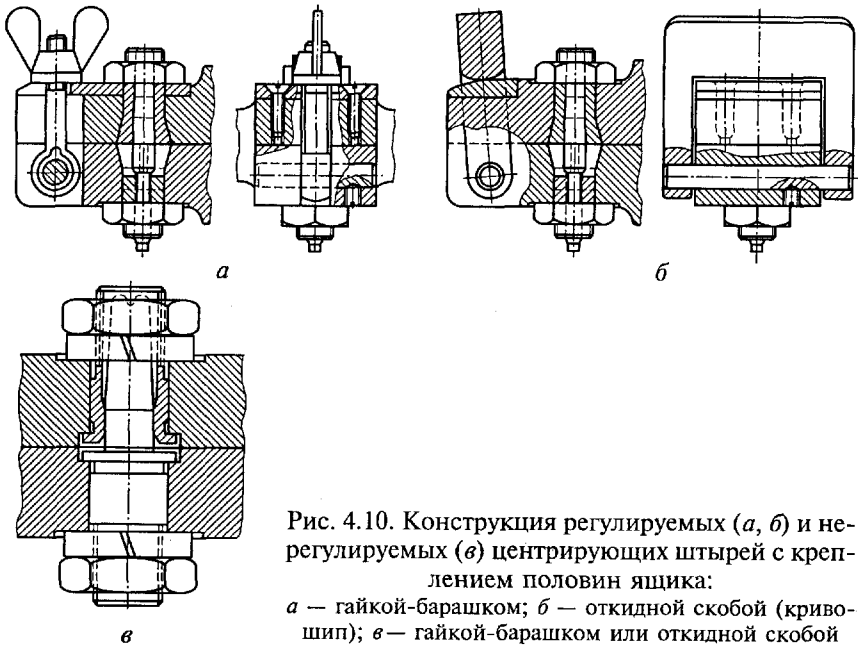


Рис. 4.10. Конструкция регулируемых (*а*, *б*) и нерегулируемых (*в*) центрирующих штырей с креплением половин ящика:
а — гайкой-барашком; *б* — откидной скобой (кривошип); *в* — гайкой-барашком или откидной скобой

тивной особенностью стержневого ящика, применяемого для пескодувно-прессового изготовления стержней, является наличие вент для выхода воздуха, попадающего в полость ящика вместе со смесью. Открытый ящик (см. рис. 4.11, *а*) прижимается к вдувной плите машины; во избежание прорыва смеси фланцы ящика должны иметь ширину 20...30 мм. В дне ящика против вдувных отверстий установлены шайбы из закаленной стали для защиты его от разрушающего действия струи смеси. Закрытые стержневые ящики с горизонтальным разъемом (рис. 4.11, *з*) имеют в верхней части вдувные отверстия для стержневой смеси и венты для вентиляции полости ящика. При изготовлении стержней пескодувным способом значительное влияние на качество стержней оказывают расположение, число и площадь живого сечения вент — литых или механически обработанных (рис. 4.12, *а*) и составных (рис. 4.12, *б*) с сеткой для выхода воздуха.

Расчет суммарной площади вент и их числа ведут по следующим экспериментальным данным: 1 см^2 площади вдувных отверстий на 0,25 кг стержня или на 70 см^2 площади стержня в плоскости разъема. Следовательно, площадь $F_{вд}$ вдувных отверстий можно определить по уравнениям

$$F_{вд} = \frac{m_{ст}}{0,25} \quad \text{или} \quad F_{вд} = \frac{F_{ст}}{70},$$

где $m_{ст}$ — масса стержня, кг; $F_{ст}$ — площадь сечения стержня в плоскости разъема, см^2.

Затем выбирают диаметр вдувного отверстия. Наиболее часто используются втулки с диаметром вдувного отверстия, равным 8,

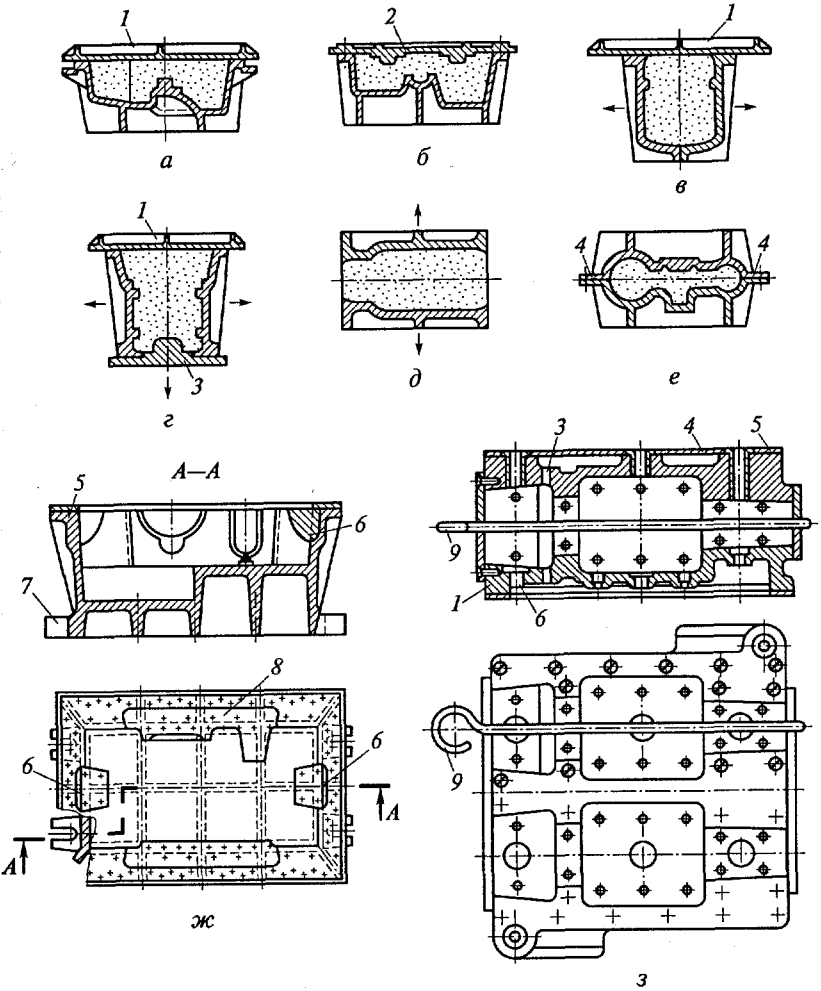


Рис. 4.11. Тип конструкции стержневого ящика из алюминиевого сплава:

а — открытый; *б* — открытый с вкладышем; *в* — открытый с вертикальной плоскостью разъема; *г* — открытый с вкладышем в донной части; *д* — разъемный, открытый с торцов; *е* — глухой; *ж* — открытый с отъемной частью; *з* — закрытый для пескодувного уплотнения с вдувными отверстиями, вентами; *1* — сушильная плита; *2, 3, 6, 8* — вкладыши; *4* — штырь; *5* — основной корпус ящика, *7* — приливы для крепления ящика; *9* — вентиляционная игла; стрелками на *в, г, д* показано направление разъема ящика

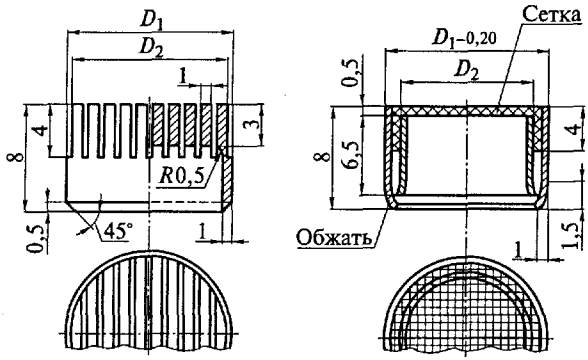


Рис. 4.12. Типы вент:

а — литые с щелевыми прорезями; *б* — составные с сеткой; D_1 — посадочный диаметр; D_2 — конструктивный диаметр

10 или 12 мм (меньшие значения — для мелких стержней, большие — для крупных). Выбрав диаметр отверстия, определяют его площадь $F_о$, а затем число вдувных отверстий $n_{вд}$ по уравнению

$$n_{вд} = \frac{F_{вд}}{F_о}.$$

Суммарная площадь вент $F_{вент}$, см^2, соответствует площади вдувных отверстий:

$$F_{вент} = F_{вд},$$

тогда число вент $n_{вент}$ можно определить по уравнению

$$n_{вент} = \frac{F_{вент}}{F_{ж.с}},$$

где $F_{ж.с}$ — площадь живого сечения венты, см^2.

Во всех случаях округление осуществляется в бóльшую сторону. Вдувные отверстия в ящике не должны препятствовать установке каркасов, выполнению вентиляционных каналов.

В технологии изготовления стержней с конвективной сушкой, когда упрочнение стержня происходит вне оснастки, необходимо использовать сушильные плоские или фасонные (соответствующие конфигурации стержня) драйеры.

При изготовлении стержней по нагреваемой оснастке стержневые ящики выполняют из чугуна. При этом для извлечения стержня из ящика в обязательном порядке предусмотрены толкатели. Для получения пустотелых стержней ящики снабжают так называемыми «опустошителями» с автономным нагревом. Применяют

плоские надувные водоохлаждаемые плиты (см. гл. 8). Чаще используется водоохлаждаемая плита с соплами, которые также омываются водой. Кроме того, на надувное металлическое сопло надевают резиновый наконечник, чтобы сопло меньше нагревалось и сохранялась живучесть смеси, находящейся выше плиты в пескодувном резервуаре стержневой машины.

При изготовлении стержней по холодной оснастке с продувкой газообразным катализатором стержневые ящики могут изготовляться из пластмассы и дерева. При этом стержневой ящик также может иметь толкатели для извлечения готового стержня. Кроме пескодувного резервуара машина должна имеет плиту для продувки стержня газообразным катализатором.

4.3.5. Опоки

Опоки (ГОСТ 14976—69) предназначены для восприятия нагрузки от смеси, возникающей при уплотнении литейной формы, удерживания смеси при кантовке и транспортировке, для уменьшения подутия и предотвращения возможности разрушения формы при заливке. Опоки, как правило, выполняют прямоугольной формы, они бывают сварными и литыми. Чаще используются более дешевые литые опоки (табл. 4.5 и рис. 4.13).

Материалом служат чугун, сталь. Стенки опоки для ручной и машинной формовки имеют отверстия для уменьшения массы опоки, как считают некоторые специалисты, для облегчения вы-

Таблица 4.5. **Конструктивные размеры литых опок, мм (см. рис. 4.13)**

L	B	$H \pm 1{,}5$	A		L_1	L_2	B_1	l	a	b	b_1	h
			Номинальное	Пределы отклонений								
600	500	125 150 200 250 300	700	±0,2	680	900	580	300	120	125	165	70 80 120 150 180
700	600	150 200 250 300 350 400	800		780	1000	680	375	140	150	200	80 120 150 180 210 240
800		150 200 250	920	±0,5	800	1120		450	160			80 120 150

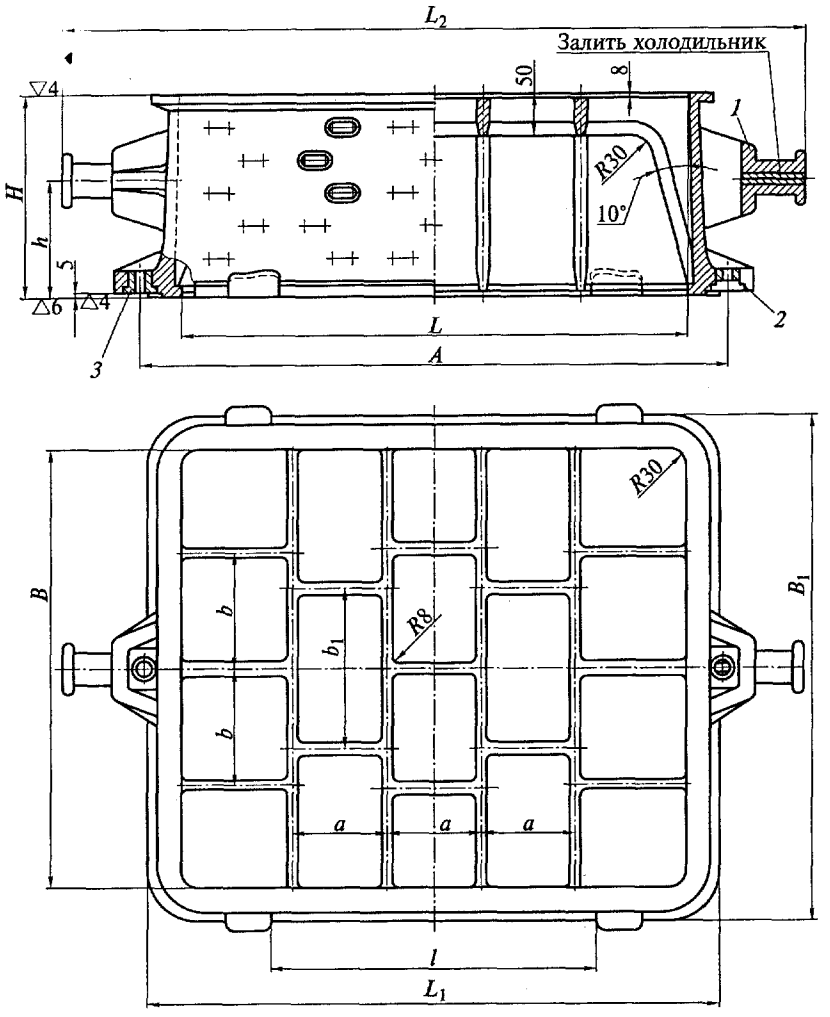


Рис. 4.13. Опока для машинной формовки:

1 — цапфа; *2* — направляющая (прорезная) втулка; *3* — центрирующая втулка; *L*, *B*, *H*, *A*, L_1, L_2, B_1, *l*, *a*, *b*, b_1, *h* — размеры опоки

хода газов. Для лучшего удерживания смеси в крупных опоках предусмотрены взаимно-перпендикулярные перегородки (крестовины), не доходящие до модели минимум на 50 мм. В ушки опок запрессовывают центрирующие и направляющие (прорезные) втулки (рис. 4.14). Использование прорезной втулки в опоке необходимо для того, чтобы нагретую теплом отливки опоку можно было установить на холодную модельную плиту. Если этого не пред-

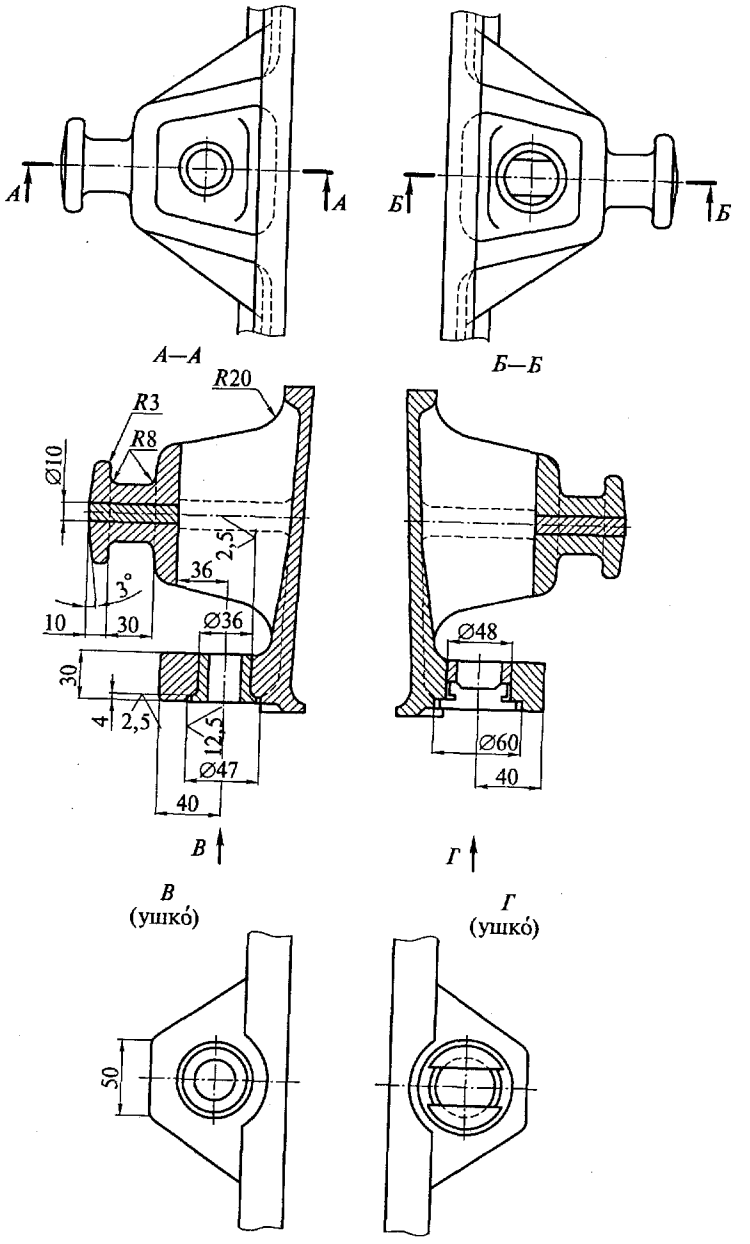


Рис. 4.14. Конструкции цапф, центрирующих и направляющих втулок

усмотреть, то возможно заклинивание опоки на штырях модельной плиты. Размеры, указанные на рис. 4.14, соответствуют приведенным размерам опок в табл. 4.5.

Скрепление опок при сборке (см. гл. 10) чаще всего выполняют с помощью скоб, которые загоняют на фланцевые конические приливы, расположенные на большей стороне опоки. После этого сборочные штыри вынимают. На автоматических формовочных линиях центрирующий и направляющий штыри закреплены в верхних опоках.

4.4. ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОДЕЛЕЙ

Одним из основных недостатков изготовления моделей, особенно металлических, является длительность технологического процесса. Поэтому в конце 1980-х гг. ведущие промышленные фирмы стали использовать концепцию CIM (Compact Intelligent Manufacture) компактного интеллектуального проектирования и новые технологии быстрого прототипирования RP (Rapid Prototyping), основанные на использовании компьютеров и технологических лазеров [9].

В настоящее время существует большое число методов быстрого прототипирования. Для технологов-литейщиков представляют интерес такие новые технологии, как лазерная стереолитография SLA (Stereo Litografi Apparatus), селективное лазерное спекание SLS (Selective Laser Sinerung), нанесение слоев ламинированного материала LOM (Laminatet Object Manufacturing) и изготовление прототипов из легкоплавких материалов FDM (Fused Deposition Modeling).

SLA-модели. Наибольшее распространение получила технология SLA лазерной стереолитографии, по которой производится объемное пластиковое изделие послойным отверждением фотополимеризующейся композиции (ФПК) с помощью лазерного луча по трехмерной компьютерной модели.

Луч лазера по заданной программе последовательно очерчивает на поверхности жидкого полимера контуры слоев, на которые разбита трехмерная модель. Под его воздействием слой фотополимера мгновенно полимеризуется (отверждается) и затем опускается в ванну с жидким полимером на толщину затвердевающего слоя (0,1 ... 0,15 мм). Далее процесс повторяют для другого сечения трехмерной модели. Имеется опыт изготовления стереолитографических пластиковых мастер-моделей для машинной формовки на КамАЗе, выдержавших 500 циклов машинной формовки. На Ярцевском заводе двигателей испытывали пластиковые модели крышки стартера на автоматических линиях. Для

уменьшения расхода ФПК и времени работы установки SLA-250 модели сделали пустотелыми, залив их внутреннюю поверхность эпоксидной смолой ЭД-20. Отмечается, что хрупкость материала полимерных моделей не обеспечивает возможности многократного монтажа моделей. При использовании моделей в качестве нагреваемой оснастки отмечены случаи налипания смеси на материал модели. В то же время отмечается, что применение полимерных моделей сокращает сроки изготовления модельной оснастки и снижает ее стоимость более чем в 2 раза по сравнению с металлической.

Полимерные стереолитографические прототипы отливок применяются также для изготовления силиконовых форм, которые затем используются для литья заготовок из цинка и пластмасс, ранее получаемых литьем под давлением. По данным зарубежных экспертов, если на изготовление механически обработанной стальной пресс-формы требуется 3...4 мес и ее себестоимость составляет 15...40 тыс. руб., то эластичную силиконовую форму можно изготовить менее чем за сутки и она дешевле в 20—30 раз.

Стереолитографические установки можно также использовать для производства выжигаемых тонкостенных (0,5...0,8 мм) моделей из эпоксидных фотополимерных композиций.

Первая система послойного прототипирования, названная стереолитографией, была запатентована в США в 1986 г.

SLS-технология. При селективном лазерном спекании технологии SLS при изготовлении прототипов используются порошкообразные материалы — пластмасса, металл, керамика и др. Слой порошка наносят на горизонтальную поверхность, прокатывают подогретым валиком и так же, как в SLA, лучом лазера спекают контуры слоев трехмерной модели на толщину 0,05...0,20 мм. Далее наносят новый слой порошка и операции повторяют, наращивая деталь по высоте. SLS-технологией можно изготовить деталь произвольной формы, оболочковые формы для литья, песчаные стержни.

LOM-технология. В данной технологии последовательно наносят слои ламинированной с одной стороны бумаги или пленочного пластика, которые склеивают прокатыванием нагретого валика и затем лучом лазера вырезают изделие по контуру сечения трехмерной модели на толщину слоя бумаги. Затем неровности по линии реза удаляются вручную. Поверхность получаемого изделия (модели) шлифуют и покрывают лаком.

Изготовленные модели гигроскопичны, имеют бóльшую прочность, чем деревянные модели, но меньшую, чем SLA-модели. Модели LOM-технологии могут быть широко использованы (после соответствующей пропитки) для изготовления песчаных форм, тем более что установки LOM-технологии по крайней мере в 10 раз дешевле, чем SLA-установки.

На LOM-модели можно плазменным напылением нанести металлическое покрытие толщиной 1,5...3,2 мм, тем самым превратив их практически в металлические.

FDM-технология. Изготовление прототипов из легкоплавких материалов по технологии FDM заключается в том, что гранулированный или прутковый материал в специальной камере нагревают до температуры размягчения (точность поддержания температуры не ниже ± 0,1 °С) и продавливают через фильеру диаметром 50...200 мкм. Фильера перемещается в горизонтальной плоскости по заданной программе, нанося выдавливаемую «нить» на предыдущий слой. При использовании воскоподобных материалов изготовленные модели можно использовать при литье по выплавляемым моделям.

Описанные технологии могут быть использованы для изготовления изделий с размерами 500 × 500 мм в индивидуальном и мелкосерийном производствах с партией выпуска от 1 до 100 шт. Кроме того, как уже отмечалось выше, они широко используются в крупносерийном и массовом производствах для сокращения цикла подготовки производства.

Однако следует отметить высокую стоимость зарубежных установок быстрого прототипирования и особенно стоимость расходных материалов, которые поставляются только фирмами, продавшими установку.

За последние десятилетия в РФ наряду с более чем десятью зарубежными вариантами установок появились аналоги отечественного производства, например лазерная стереолитографическая установка СЛА-250 Института проблем лазерных и информационных технологий РАН (г. Шатура). Данные лазерные установки оснащены отечественным программным обеспечением и работают на фотополимерах как импортного, так и российского производства.

ГЛАВА 5

МЕТОДЫ УПРОЧНЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ

Прочность литейных форм и стержней, изготовленных из дисперсных смесей (формовочных и стержневых), является одним из основных их технологических свойств и определяет качество отливок: точность их размеров и ряд дефектов форм, стержней и отливок, таких, как подрыв, обвал и др.

Прочность сырых форм, используемых, как правило, для отливок небольшой массы, достигается механическими способами уплотнения сырых смесей, в некоторых случаях с подсушкой.

Для крупных отливок массой более 500... 1000 кг используют сухие формы, которые изготовляют сырыми, а затем высушивают.

Широкое распространение получили, особенно в последнее время, химические методы отверждения литейных форм и стержней (см. гл. 3).

Для упрочнения форм и стержней используются также физические методы, а именно: магнитная формовка (придание прочности форме и стержням из ферромагнитной дроби магнитами), вакуумная формовка (придание прочности обычному песку, находящемуся в замкнутом объеме, силами окружающей атмосферы при создании вакуума в этом объеме).

Ниже рассмотрены названные методы упрочнения, используемые при изготовлении литейных форм и стержней.

5.1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ УПЛОТНЕНИЯ

Все методы уплотнения литейных песчано-глинистых форм разделяют на две группы: статические и динамические.

К статическим относятся методы, связанные с прессованием литейных форм. Для этих методов характерно относительно медленное увеличение нагрузки, сам процесс уплотнения длится несколько секунд. Методы уплотнения, при которых время приложения нагрузки не превышает 0,1... 0,2 с, а сжимающие напряжения в смеси быстро растут и так же быстро падают, являются динамическими. Для этих методов характерна высокая скорость деформации смеси, поэтому существенную, а в некоторых случаях и решающую роль играют инерционные силы. При уплот-

нении смеси происходит сжатие воздуха, находящегося в ее порах, и организуются его потоки между песчинками, что может влиять на результаты уплотнения. В настоящее время из множества известных методов уплотнения применяются следующие: прессование, встряхивание, импульсное, пескодувно-пескострельное, пескометное, а также комбинированные на их базе.

5.1.1. Прессование

При прессовании смесь сжимается между модельной плитой и прессовой головкой (прессовой плитой, диафрагмой, решеткой и т. п.). Прессование проходит в опоке или камере, выполняющей ее роль. На модельную плиту устанавливается опока высотой H с наполнительной рамкой высотой h, засыпается формовочная смесь, разравнивается по верхней плоскости наполнительной рамки, и далее проводится уплотнение. При уплотнении смесь, находящаяся в наполнительной рамке, переходит в опоку и уплотняется. Расчет высоты наполнительной рамки делается на основании того, что масса смеси до прессования равна массе смеси после прессования [1]. Это условие можно выразить в виде следующего уравнения:

$$(H + h)\rho_0 = H\rho,$$

где ρ_0 и ρ — плотность смеси до и после прессования.

Далее находят высоту наполнительной рамки

$$h = H\left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1\right).$$

При прессовании плоской прессовой колодкой опоки с моделями при расчете высоты наполнительной рамки учитывается объем $V_м$, занимаемый моделью (моделями):

$$[F(H + h) - V_м]\rho_0 = (FH - V)\rho,$$

где F — площадь опоки в плане.

Отсюда высота наполнительной рамки

$$h = \left(H - \frac{V_м}{F}\right)\left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1\right).$$

Прессование привлекает пользователей целым рядом преимуществ: производительностью, бесшумностью, отсутствием вибраций и ударных нагрузок, малыми расходами энергии на уплотнение смеси, замкнутостью силового поля внутри рамы машины, что позволяет устанавливать ее практически без фундаментных блоков. Схемы действия прессовых машин приведены на рис. 5.1.

Прессование бывает трех видов: верхнее, нижнее и двустороннее. Наиболее распространенным является верхнее прессование.

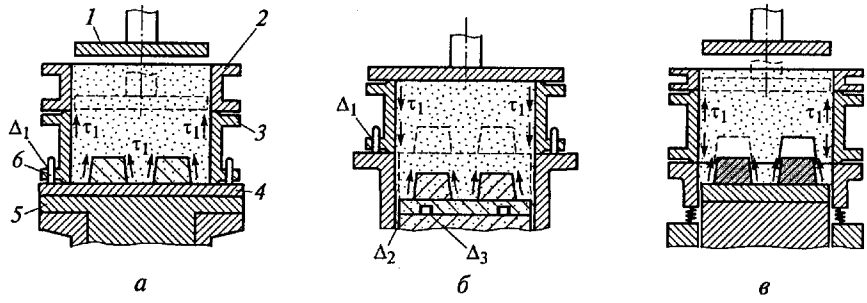


Рис. 5.1. Схемы прессования:

а — верхнего; *б* — нижнего; *в* — двустороннего; *1* — прессовая плита; *2* — наполнительная рамка; *3* — опока; *4* — модельная плита с моделями; *5* — стол машины; *6* — штырь; Δ_1, Δ_2, Δ_3 — зазоры между сопрягаемыми элементами; τ_1 — действующие напряжения от внешнего трения

Вместе с тем прессование при всех его положительных качествах обладает двумя существенными недостатками: ограниченной высотой формы, получаемой этим методом, и трудностью получения одинаковой плотности смеси в различных зонах формы с моделями. Первый недостаток является результатом снижения величины сжимающих напряжений в результате действия напряжений τ_1 (показаны стрелками) от внешнего трения по мере удаления от прессующей колодки (при верхнем прессовании) или модельной плиты (при нижнем прессовании), в результате чего сжимающие напряжения в смеси могут стать недостаточными для получения нужной ее плотности. Для преодоления этого недостатка обычно рекомендуют увеличивать давление прессования, что требует увеличения размеров прессового механизма, укрупнения силовых деталей машины и, что весьма нежелательно, утолщения стенок опок и модельной плиты. Достигнутый при этом результат получается удовлетворительным только при отсутствии моделей в уплотняемой форме. Второй недостаток проявляется при уплотнении формы с моделями.

При прессовании формы с моделями плоской колодкой возникает сильное переуплотнение объема смеси над моделью (особенно если велика горизонтальная поверхность модели) и недоуплотнение смеси в объемах вокруг моделей.

Применение технологии высоких давлений прессования (обычно 1,5...2,0 и даже 4...5 МПа) позволило увеличить высоту опок, привело к некоторому выравниванию плотности смеси в надмодельном и околомодельном пространствах, а также в болванах и выступающих частях формы. Однако в результате развитие получили упругая деформация даже весьма жестких моделей и опок и упругая деформация зерен смеси с защемлением отдельных частей формы в моделях и между ними. Последнее приводит к обры-

вам выступающих частей формы при ее съеме с модельной плиты, а также к искажению геометрии отпечатков моделей и снижению точности отливок. Для уменьшения указанных явлений рекомендуется работать с давлением менее 1,0...1,5 МПа.

Другим путем для выравнивания плотности форм с моделями является повышение текучести смеси. Под термином «текучесть смеси» при прессовании следует понимать способность смеси обеспечивать получение форм постоянной плотности (по сечению) за счет перемещения смеси из зон большего уплотнения в зоны меньшего уплотнения в каждый данный момент времени. Равномерность уплотнения определяется коэффициентами внешнего и внутреннего трения, уплотняемостью, начальной и предельной плотностью смеси. Первый параметр зависит от состава смеси и свойств материала оснастки, качества обработки ее поверхности. Остальные параметры зависят от состава смеси. Текучесть смеси определяется по технологической пробе Г. М. Орлова [33]. У высокотекучих смесей текучесть достигает 90...95 %, а у низкотекучих — 50 %. Эксперименты А. А. Волкомича показали, что текучесть смеси зависит, в основном, от коэффициента внешнего трения и практически не зависит от внутреннего трения и прочности смеси на сжатие. Коэффициент внешнего трения можно уменьшить тремя способами: изменяя состав формовочной или стержневой смеси, материал рабочей поверхности модели или применяя антифрикционные разделительные материалы для покрытия моделей перед засыпкой смеси.

Наиболее перспективными и эффективными являются способы применения антифрикционных смазок-разделителей и изменения материала моделей. При использовании добавки компонентов, повышающих текучесть смеси, следует учитывать, что эти компоненты при многократном использовании могут накапливаться и ухудшать свойства смесей. Наконец, третьим путем является применение в настоящее время старых и хорошо известных методов выравнивания плотности по зонам формы посредством фасонных и профильных прессовых колодок, предварительного профилирования формовочной смеси на контрладе полуформы, а также диафрагменных и многоплунжерных прессовых головок и прессования решетчатым прессовым элементом.

Прессование профильной прессовой колодкой. При этом способе на прессовой колодке против карманов в оснастке и по периферии опоки делаются выступы, которые входят в контакт со смесью раньше, чем части колодки, расположенные над высокими частями моделей, и, таким образом, в конце прессования выравнивают относительные деформации столбов смеси в карманах и над выступающими частями смеси. Высота x выступа на колодке рассчитывается в зависимости от высоты $H_м$ модели под ним (рис. 5.2, *а*):

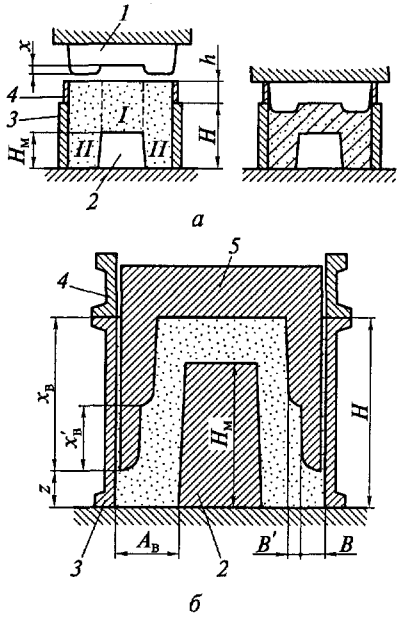


Рис. 5.2. Прессование профильной (*а*) и контурной (*б*) колодками:

1 — профильная плита; *2* — модель; *3* — опока высотой H; *4* — наполнительная рамка высотой h; *5* — контурная плита; *I*, *II* — объемы смеси разной высоты; $H_м$, x, $x_в$, $x'_в$, z, B, B' — профильные размеры; $A_в$ — расстояние между опокой и моделью

$$x = H_м\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right),$$

где $H_м$ — высота выступающего элемента модели; ρ_0 и ρ — плотность смеси до и после уплотнения.

На практике в случае сложных моделей применяют колодки, имеющие несколько выступов разной высоты.

Разновидностью профильной прессовой колодки является прессовая контурная плита (рис. 5.2, *б*). При ее использовании выступы входят в соответствующие промежутки между моделями, между моделями и стенками опоки, смесь уплотняется непосредственно в этих промежутках. При движении выступа смесь отжимается к стенке модели, чему способствуют закругления на углах выступов и уклоны их боковых стенок. Ширина выступа $B = (0{,}25...0{,}33)A_в$, утолщение выступа $B' = (0{,}25...0{,}33)B$, общая высота выступа $x_в = (1{,}0...1{,}2)H_м$, размеры части выступа $x'_в = 60...75$ мм, $z = 35...50$ мм. При $H_м$ менее 100 мм $B' = 0$. При использовании контурных плит возникают дополнительные операции: засыпка смеси в образовавшиеся углубления и последующая допрессовка формы. Подобную профильную плиту лучше всего применять, выравнивая плотности формы, в случаях узких карманов в оснастке.

Прессование с предварительным профилированием смеси по контрладу формы. Данный вид прессования проводится плоской плитой, а на контрладе над выступающими частями моделей удаляется часть смеси (рис. 5.3). Для профилирования можно применять шаблоны, перемещаемые по контуру опоки. Глубина профилирования предварительно рассчитывается по уравнению

$$y = H_м\left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1\right),$$

где y — высота объема удаляемой смеси (глубина профилированной выемки); $H_м$ — высота модели; ρ_0, ρ — плотность смеси соответственно до и после прессования.

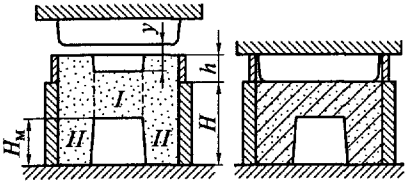


Рис. 5.3. Прессование с предварительным профилированием смеси в опоке:

y — высота объема удаляемой смеси; *H* — высота опоки; *h* — высота рамки; $H_м$ — высота выступающего элемента модели

Для сложных моделей высоту выступов на колодке (*x*) и глубину выемки (*y*) в смеси рассчитывают отдельно для каждого элемента модели. При этом следует помнить, что определение величин *x* или *y* проводится для чисто геометрических соотношений без учета неоднородности степени уплотнения по высоте в отдельных столбах смеси из-за влияния сил трения. Кроме того, следует отметить, что по ходу прессования может возникнуть необходимость изготовления дополнительных элементов оснастки (фасонной колодки, шаблона и копиров), которые надо менять при смене модельных плит.

Прессование гибкой диафрагмой. При этом методе гибкая диафрагма, смонтированная на головке машины, к которой снизу прижимается опока со смесью, при впуске в головку воздуха (рис. 5.4, *а*) деформирует формовочную смесь в опоке больше всего в тех местах, где она меньше уплотнена, т.е. где участок формы более податлив. При диафрагменном прессовании давление на смесь равно давлению воздуха в головке машины. Диафрагменное прессование дает практически однородное уплотнение форм с моделями только при достаточно большом расстоянии между ними (минимальное расстояние между моделями 40... 50 мм). При диафрагменном прессовании давление на опоку в верхних частях формы оказывается максимальным, так как торцовое трение не мешает смеси у поверхности диафрагмы двигаться к стенкам опоки, а диафрагма, внедряясь в смесь, передает давление через смесь на опоку. Существенным недостатком этого мето-

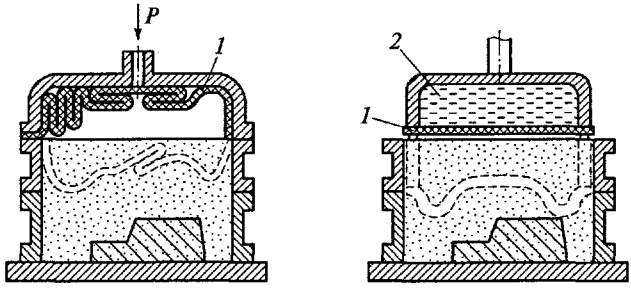


Рис. 5.4. Диафрагменные прессовые головки:

а — активная; *б* — пассивная; *1* — диафрагма; *2* — гидропласт; *P* — усилие прессования

да является низкая стойкость диафрагмы в тех случаях, когда она выполняется из упругого материала, например резины. При применении свободно провисающей диафрагмы возникает проблема извлечения ее из зоны, охваченной стенками опоки, для предотвращения ее повреждения в процессе снятия полуформы с машины.

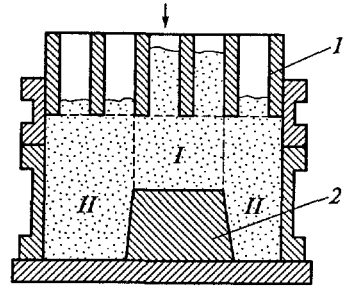


Рис. 5.5. Прессование решеткой:

1 — решетка; *2* — модель; *I, II* — объемы смеси разной высоты; стрелкой показано направление прессования

Наряду с активными используются пассивные диафрагменные головки. В этом случае эластичный элемент сплошной и его изготовляют из эластичного материала — технической или вакуумной резины, гидропласта (рис. 5.4, *б*) и т. п. В этих головках напряжения, возникающие в смеси в зоне контакта головки с диафрагмой, зависят от величины деформации эластичного элемента и его свойств. Эластичный элемент деформируется таким образом, что напряжения на контактной поверхности элемент—смесь практически выравниваются, что, однако, не гарантирует одинакового уплотнения в удаленных от прессовой головки частях формы. Контрлад формы при диафрагменном прессовании повторяет (приблизительно) конфигурацию модельной оснастки. Следует отметить, что применение активной головки возможно только при верхнем прессовании. Пассивная головка может применяться как при верхнем, так и при нижнем прессовании.

Прессование решеткой. Обычно решетка состоит из ряда параллельных пластин-ребер, соединенных рамкой (рис. 5.5). При прессовании формы решеткой в переуплотненных зонах над моделями возникают большие напряжения. В этих зонах смесь начинает выдавливаться через зазоры между пластинами. В результате плотность под решеткой выравнивается по всему горизонтальному сечению формы. При необходимости смесь можно выдавливать через решетку до тех пор, пока не будет получена форма заданной высоты. Решетка может состоять из взаимно-перпендикулярных ребер. Плоская плита с отверстиями и плита с закрепленными на ней с определенным шагом вертикальными стержнями, имеющими плоские торцы, также могут рассматриваться как решетка. Решетку можно применять как при верхнем, так и при нижнем прессовании. Этим способом можно получить нижним прессованием полуформу, лад которой совпадает с ладом опоки.

Прессование многоплунжерной головкой. Данный вид прессования является наиболее распространенным. Принцип работы головки представлен на рис. 5.6. Прессование контрлада осуществля-

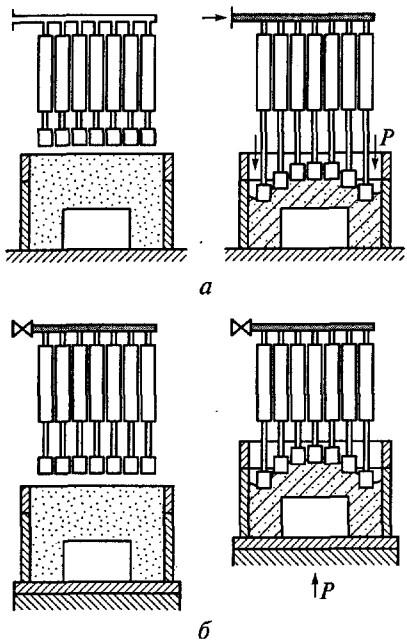


Рис. 5.6. Принцип работы активной (*а*) и пассивной (*б*) многоплунжерных головок:

P — усилие уплотнения смеси

ется с помощью башмаков, установленных на штоках гидроцилиндров (число башмаков от 30 до 100 и более), объединенных в корпусе головки. Головки бывают активные (рис. 5.6, *а*) и пассивные (рис. 5.6, *б*). В случае активной головки жидкость от генератора давления поступает в цилиндр через индивидуальный канал (показано горизонтальной стрелкой), и каждый из башмаков автономно уплотняет смесь под собой. Возможно управление воздействием на смесь посредством программирования очередности впуска жидкости в цилиндры головки, что, например, может уменьшить переуплотнение над моделью за счет сдвига (перетекания) излишней смеси из этого объема в неуплотненный соседний объем над карманом в оснастке.

Также за счет регулирования давления в линиях подачи жидкости можно обеспечить разные давления в цилиндрах и усилия *P*, уплотняющие смесь вокруг моделей и над ними, т. е. создать необходимую разность сжимающих напряжений в разных по высоте столбах смеси и, как следствие, получить в них равные плотности в зоне модельной оснастки.

Однако активные головки практически не применяются вследствие сложности их конструкции и необходимости создания систем управления. Пассивные же головки применяются очень широко. При этом силовой прессующий механизм, обеспечивающий усилие *P* (см. рис. 5.6, *б*), остается традиционным — прессовый цилиндр, расположенный снизу или сверху относительно стола машины и обеспечивающий относительное перемещение прессовой многоплунжерной головки и уплотняемой формы. В этом случае цилиндры, связанные с уплотняющими смесь башмаками, или имеют общую крышку, или соединены между собой перепускными трубками. При работе головки башмаки воздействуют на плоский контрлад полуформы одновременно и начинают процесс его уплотнения. Очевидно, что башмаки, уплотняющие смесь над высокими частями моделей, начнут испытывать большие сопротивления движению раньше, чем расположенные над низкими

частями и тем более над карманами вокруг моделей, вследствие чего будут отставать в своем движении от движения всей головки. Поршни цилиндров, соединенных с этими башмаками, будут выдавливать жидкость из них, передавая ее в остальные цилиндры головки, заставляя тем самым поршни этих цилиндров обгонять головку, уплотняя смесь в высоких ее столбах.

Можно, таким образом, предположить, что пассивная многоплунжерная головка является по действию самонастраивающейся фасонной прессовой колодкой, считая, что уплотнение смеси прекратится при выравнивании давления прессования на всех плунжерах и тем будет достигнута одинаковая плотность во всех частях формы.

5.1.2. Уплотнение встряхиванием

На модельную плиту, укрепленную на столе встряхивающей машины, ставят опоку и насыпают с верхом формовочную смесь. В цилиндр машины подается сжатый воздух. Стол встряхивающей машины вместе с полуформой поднимается на некоторую высоту и далее падает, ударяясь о преграду. При ударе стола о преграду возникает сила инерции смеси. Эта сила создает в смеси сжимающие напряжения, под действием которых она уплотняется. Высота подъема встряхивающего стола в современных машинах колеблется от 25...30 до 70...100 мм при числе ударов стола в минуту 150—300. Продолжительность действия уплотняющих сил в момент удара очень мала и выражается в тысячных долях секунды, т.е. за один удар смесь в опоке не успевает полностью уплотниться. Опоку встряхивают многократно, обычно требуется от 8 — 10 до 60—80 ударов. С каждым ударом уплотнение увеличивается. По мере увеличения числа ударов приращение плотности уменьшается, так как по мере уплотнения смеси в опоке для продолжения процесса дальнейшего уплотнения требуются другие усилия. После некоторого числа ударов наступает стабилизация уплотнения, т.е. равновесие между нагрузкой (энергией ударов, сообщаемой смеси при каждом встряхивании с данной высоты подъема стола) и степенью уплотнения. По достижении этого равновесия дальнейшее встряхивание с данной высоты подъема стола уже не приводит к уплотнению. Таким образом, прибегать к дальнейшему увеличению числа ударов не следует. Если уплотнение смеси при данном режиме встряхивания оказывается недостаточным, то для производительности рациональнее (если позволяет конструкция машины) *увеличить высоту встряхивания, а не число ударов.*

Не следует задавать слишком большое число ударов при уплотнении встряхиванием еще и потому, что оно может привести к частичному разрыхлению и даже *появлению трещин* на форме. Местное разрыхление формы при слишком длительном встряхивании объясняется сегрегацией, в процессе которой наиболее круп-

ные зерна концентрируются вверху, а наиболее мелкие — внизу. Однако такое расслоение при встряхивании происходит лишь до определенных размеров, после чего силы сцепления зерен начинают препятствовать их свободному передвижению. В тех местах, где образуются прослойки с одинаковой зернистостью, уплотнение уменьшается, так как одинаковые зерна не могут уложиться так же плотно, как зерна разных размеров, в соседних слоях формы. Как показывает практика, большое число ударов приводит только к увеличению расхода сжатого воздуха.

Предпочтительнее работать с большими высотами подъема, потому что скорость падения стола в момент удара может быть большей и в момент удара увеличатся ускорения и уплотняющая сила инерции смеси. При этом потребуется меньшее число ударов, т.е. меньшее время на уплотнение смеси в полуформе, т.е. *производительность машины возрастает.*

Распределение уплотнения по высоте опоки при встряхивании показано на рис. 5.7. Наибольшее уплотнение получается в нижнем слое у разъема, потому что при ударе на этот слой давит сила инерции всей лежащей над ним массы смеси.

По мере удаления от разъема масса вышележащей смеси уменьшается, уменьшается сила инерции вышележащих слоев, соответственно уменьшается и уплотнение. Наконец, самый верхний слой смеси оказывается неуплотненным, потому что при ударе на этот слой давит сила инерции, равная практически нулю.

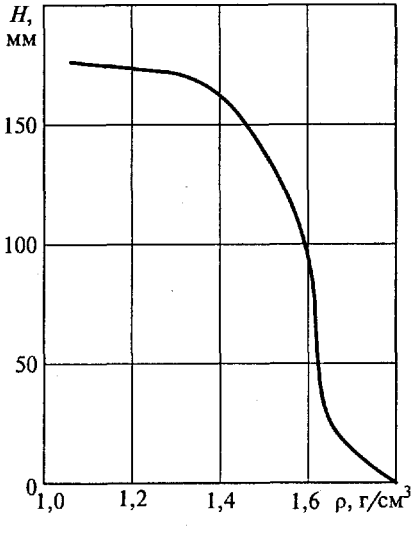


Рис. 5.7. Распределение степени уплотнения смеси по высоте H в центре опоки при встряхивании

В настоящее время для доуплотнения верхних слоев в случае малых и средних опок применяется *подпрессовка с помощью плоской плиты и прессового механизма*, а для крупных опок — *подтрамбовка* ручными или пневматическими трамбовками, а также иногда встряхивание с грузом в виде плиты, размещенной сверху на смеси (динамическая подпрессовка). Толщина чугунного груза 50...80 мм.

Подтрамбовка после встряхивания при помощи ручных и пневматических трамбовок является самым распространенным методом дополнительного уплотнения крупных опок, но не может считаться рациональной, так как требует значительной затраты времени.

Динамическая подпрессовка применяется редко, так как допол-

нительный груз может повлиять на энергию удара из-за снижения высоты подъема увеличенной массы стола встряхивающей машины.

При формовке встряхиванием небольших и средних опок (до 1000 × 800 мм) дополнительное уплотнение верхних слоев рациональнее всего достигается при помощи подпрессовки. Для этой цели встряхивающая машина снабжена подпрессовочным механизмом, который должен развивать давление на смесь порядка 0,15...0,20 Н/мм^2 (1,5...2,0 кг/см^2). Подпрессовка производится после встряхивания. Включение вибратора во время подпрессовки способствует увеличению уплотнения при том же давлении колодки подобно тому, как это наблюдается при чистом прессовании. Точно так же для получения заданной степени дополнительного уплотнения подпрессовка с вибрацией требует меньшего удельного давления колодки по сравнению с подпрессовкой без вибрации.

Необходимо обратить внимание на то, что на практике часто приходится задавать излишне большое число ударов встряхивания на одну опоку в случае, если механизм подпрессовки на машине недостаточно силен. В то же время для достижения наибольшей производительности, напротив, необходимо задавать небольшое число ударов встряхивания от 2—3 до 10 и иметь сильную подпрессовку. Поэтому формовочные встряхивающие машины с подпрессовкой надо конструировать с усиленными механизмами подпрессовки, рассчитанными на удельное давление на прессовой колодке не ниже 1 Н/мм^2.

При встряхивании *около углов* с резкими горизонтальными кромками получается *местная рыхлота*, или слабина набивки, ведущая к подутию отливок в этих местах. Рыхлое место получается на расстоянии 5...25 мм ниже угла модели. У высоких моделей (высотой больше 150 мм) рыхлота проявляется очень резко, у низких (менее 50 мм) это явление заметно слабее. При закруглении угла модели рыхлота уменьшается, и чем больше радиус закругления, тем меньше рыхлота. При радиусе больше 50 мм рыхлота проявляется слабо.

На рыхлоту влияет высота подъема стола, число ударов и высота опоки. Чем меньше высота подъема, число ударов и чем меньше высота опоки по отношению к высоте модели, тем резче выражена рыхлота.

Качество формовочной смеси также оказывает заметное влияние на появление рыхлоты. Чем больше связность и пластичность смеси, тем резче падает уплотнение за кромкой углов модели. Наконец, следует отметить благоприятное действие вибрации во время встряхивания на уменьшение рыхлоты. Если во время встряхивания включить вибратор (мощностью примерно вдвое превышающей нормальную для данной модельной плиты), то падение уплотнения около угла модели становится меньшим.

Наиболее действенным средством устранения рыхлоты является *подпрессовка* (давлением порядка 1 Н/мм^2) *профильной колодкой*, имеющей выступ против угла модели в зоне, где получается рыхлота. Подпрессовка плоской колодкой не дает достаточного устранения рыхлоты даже при давлениях порядка 0,25 Н/мм^2.

Как технологический прием встряхивание не связано с особыми требованиями ни к формовочной смеси, ни к оснастке. Однако большим его недостатком является шум при работе, превышающий 85 дБ. В 1990-х гг. в ФРГ — крупнейшем производителе литейного оборудования — введены новые требования по допустимому уровню шума. Результатом явилась широкая замена встряхивающих формовочных машин с опоками площадью более 1 м^2. Появились процессы нового поколения холоднотвердеющих смесей (ХТС). Для мелких форм широкое применение получили импульсно-прессовые способы уплотнения.

5.1.3. Уплотнение с помощью пескомета

Основной рабочей частью пескомета является *метательная головка* (рис. 5.8). В кожухе на вращающемся с частотой 1400...1500 мин$^{-1}$ горизонтальном валу имеется ротор, на котором укреплена сменная лопатка (или ковш). Через отверстие в задней стенке в кожух головки ленточным конвейером подается смесь, которая подхватывается лопаткой и вовлекается во вращательное движение. Возникающие в этот момент центробежные силы сдвигают смесь по лопатке, прижимая к направляющей дуге кожуха головки пескомета. При этом смесь уплотняется, образуется так называемый «пакет смеси», который через выходное отверстие покидает головку пескомета, соскальзывая с лопатки и падая вертикально вниз в находящуюся под головкой опоку, расположенную на модельной плите. Такое направление полета достигается подбором величин окружной и относительной скоростей пакета в момент схода его с лопатки. Если движение пакета не будет вертикальным, то уплотнения формы около вертикальных стенок достичь не удастся.

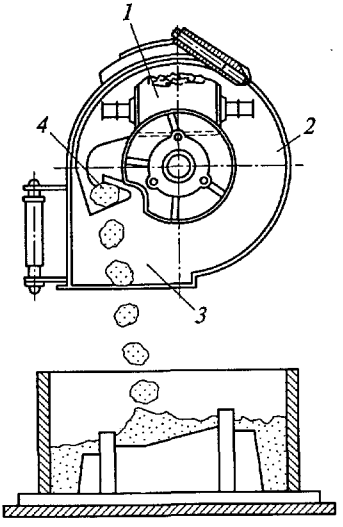


Рис. 5.8. Схема действия метательной головки пескомета:

1 — ленточный конвейер для подачи смеси; *2* — кожух головки; *3* — пакет смеси в выходном отверстии; *4* — сменная лопатка (ковш)

В настоящее время применяют пескометы, имеющие одну, две или три лопатки на роторе. За каждый оборот лопатки выбрасывается один — три пакета, так что наблюдателю кажется, что смесь выходит из головки непрерывной струей. Вследствие большой скорости падения пакеты смеси с силой ударяют о поверхность смеси в опоке и уплотняют ее, действуя как своего рода трамбовки; одновременно опока наполняется смесью. Поскольку пакеты равны по массе и имеют одинаковую скорость схода с лопатки пескомета, можно считать одинаковым уплотняющее действие всех пакетов при ударе. Для обеспечения однородной плотности в горизонтальном слое необходимо головку пескомета перемещать с определенной скоростью, чтобы пакеты смеси ложились рядом один с другим. При набивке формы сначала необходимо уплотнять смесь в карманах и вокруг моделей, не попадая при этом пакетами в модели, так как это приведет к разрушению пакетов и создаст условия для образования рыхлой подложки вокруг них. Падение последующих пакетов на рыхлую подложку ухудшит уплотнение и нарушит однородность набивки.

Чтобы иметь возможность направлять поток смеси в разные точки площади опоки, головку монтируют на конструкции, позволяющей перемещать ее относительно опоки в горизонтальной и вертикальной плоскостях. При перемещении головки в вертикальной плоскости система рычагов большого рукава пескомета, включающая в себя параллелограмм, обеспечивает перемещение головки пескомета параллельно самой себе.

При набивке пескометом смесь однородно уплотняется по высоте опоки у модели, в средних слоях и у стенок опоки. Однородность уплотнения делает пескомет особенно целесообразным для набивки нижних опок с высокими моделями. Уплотнение достаточно надежно не только у разъема, но и на уровне верхней кромки модели, где нижняя полуформа больше всего подвергается давлению металла при заливке. Местной рыхлоты за острыми кромками углов модели при набивке пескометом не наблюдается.

Степень уплотнения регулируют либо переключением вращения лопатки головки на другую скорость (пескометы могут иметь, например, две скорости), либо путем быстрого и медленного вождения головки над опокой. При более быстром вождении головки уплотнение получается несколько больше, а при медленном — меньше. Если головку держать над опокой в одном положении, то уплотнение получается еще меньшим. В этом случае струя смеси бьет все время в одно место и в опоке образуется коническая кучка смеси, причем новые порции ссыпаются с нее в стороны. При всяком же перетекании и сдвиге сыпучие материалы с зернистым строением разрыхляются, поэтому и смесь в данном случае меньше уплотняется, чем при передвижении головки над опокой.

Пескометы, как правило, благодаря большой производительности (10...30 $м^3$/ч) применяются для набивки лишь средних и крупных опок. Небольшие опоки невыгодно набивать пескометом из-за слишком большой потери смеси, падающей мимо опоки.

Пескометы бывают стационарные и передвижные. В первом случае оснастку, опоки и смесь доставляют к пескомету, а полуформы и стержневые ящики после набивки удаляют от пескомета. Во втором случае пескомет устанавливается или на тележку, перемещающуюся по железнодорожному пути по середине пролета, или на специальное шасси по типу велосипедного крана, перемещающегося вдоль стены пролета.

5.1.4. Уплотнение пескодувным и пескострельным методами

Пескодувный и пескострельный процессы уплотнения в настоящее время широко применяются для изготовления литейных форм и стержней. Они являются весьма прогрессивными производительными процессами, так как уплотнение смеси в стержневом ящике или в опоке занимает доли секунды, а пескодувные (пескострельные) машины по своему устройству значительно проще всех прочих видов формовочных и стержневых машин. Процессы интересны еще и тем, что одновременно с уплотнением происходит заполнение смесью технологической емкости (ящика, опоки) смесью. Изготовление литейных форм пескодувным (пескострельным) процессом взамен распространенного в настоящее время изготовления на встряхивающих машинах столь же перспективно, как и изготовление стержней пескодувным методом.

Пескодувный процесс заключается во вдувании сжатым воздухом формовочной или стержневой смеси в опоку или стержневой ящик (рис. 5.9, *а*). Пескодувная машина имеет резервуар, периодически пополняемый смесью, в который в момент надува впускается через быстродействующий клапан из ресивера сжатый воздух с обычным давлением 0,6 МПа. Стержневой ящик или опока, стоящая на модельной плите, прижимается снизу к надувной плите пескодувного резервуара, и смесь вдувается в технологическую емкость. Вдувание смеси в опоку или ящик происходит через вдувные отверстия, которые делаются в надувной плите, служащей дном пескодувного резервуара. Отверстия в надувной плите располагают в зависимости от конфигурации стержня или модельной оснастки. Пескострельный резервуар (рис. 5.9, *б*) отличается от пескодувного (см. рис. 5.9, *а*) тем, что имеет одно надувное отверстие (щель), которое соединяется с гильзой, установленной в пескострельной головке. Смесь в гильзу поступает через люк, перекрываемый шибером. Гильза имеет прорези в боковых стенках, через которые смесь не просыпается. Диаметр выходного от-

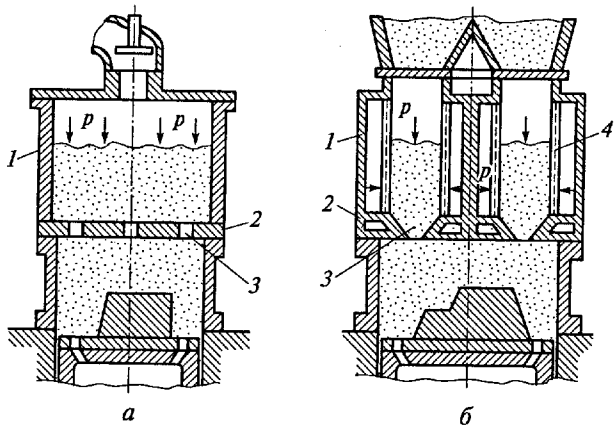


Рис. 5.9. Пескодувное уплотнение формы с помощью головок:
а — пескодувной; *б* — пескострельной; *1* — пескодувная головка; *2* — надувная плита; *3* — надувное отверстие; *4* — гильза

верстия гильзы 40 мм. Сжатый воздух, поступающий из ресивера через клапан в пространство вокруг гильзы, через прорези в ней устремляется в смесь. Такая конструкция обеспечивает большой перепад давления воздуха и большие скорости движения смеси при заполнении и уплотнении технологической емкости. По механизму уплотнения пескодувный и пескострельный процессы одинаковы. Поэтому в дальнейшем при описании будет употребляться термин «пескодувный процесс».

Выпуск воздуха из ящика или опоки наружу происходит через вентиляционные отверстия, или *венты*, которые выполняются обычно в виде либо пробок из цинкового сплава или пластмассы, имеющих множество прорезанных в них параллельных щелей, через которые не проходят песчинки, либо цилиндриков с напаянной вместо дна сеткой. Венты запрессовывают в отверстия, просверленные в стенках стержневого ящика или модельной плиты.

Система вентиляции, в которой расположены венты в нижней части стержневого ящика, в его конце, противоположном по отношению к месту подачи смеси, называется нижней вентиляцией. Для нее требуется устройство вент в стенках стержневого ящика. При формовке опок для нижней вентиляции требуется устройство вент на модельной плите. При изготовлении форм пескодувным методом опока должна иметь глухие стенки.

Используется также другая система вентиляции, предусматривающая вторую вентиляционную плиту, смонтированную под дутьевой плитой и снабженную множеством вент. Вдувные же отверстия, выполненные во втулках, проходят через обе плиты. Дан-

ная система образует так называемую «верхнюю вентиляцию». Стержневой ящик при такой системе вентиляции делается совсем без вент. При этом с успехом могут применяться и деревянные стержневые ящики. Вся вентиляция осуществляется через венты вентиляционной плиты. При формовке опок в случае верхней вентиляции делать венты на модельной плите также не нужно. Опока и в этом случае должна иметь глухие стенки. Исключением являются только глубокие карманы в стержневом ящике или модельной оснастке, где воздух может быть захлопнут при изготовлении стержня или формы.

Кратковременный процесс уплотнения смеси пескодувным методом можно условно представить состоящим из двух стадий. При пуске в пескодувный резервуар сжатого воздуха последний устремляется через вдувные отверстия в полость стержневого ящика или в опоку и увлекает стержневую или формовочную смесь. В стержневых ящиках и опоках высотой до 300 мм средняя скорость струи смеси получается порядка 15 м/с. При ударе струи в стенку ящика или в слой смеси происходит ее уплотнение за счет кинетической энергии струи смеси.

Для этой первой стадии процесса важна величина давления воздуха в пескодувном резервуаре. Чем выше давление в резервуаре, тем больше скорость струи, тем больше ее кинетическая энергия и получаемая степень уплотнения смеси. Вентиляция, особенно верхняя, обеспечивающая удаление воздуха из потока, способствует более плотной укладке зерен смеси при ударе, т.е. увеличению уплотнения. Существенным является расстояние между вдувными отверстиями, которое не должно превышать размера основания тех конусов смеси, которые струи образуют под каждым вдувным отверстием.

Одновременно с заполнением ящика или опоки и образованием слоя смеси все увеличивающейся толщины h развивается вторая стадия пескодувного процесса — фильтрация сжатого воздуха через поры уложенной в ящике или в опоке смеси в направлении от свободной поверхности смеси к вентам. После заполнения ящика или опоки смесью только эта (вторая) стадия процесса получает развитие вплоть до прекращения дутья.

При фильтрации воздушного потока сквозь пористую среду происходит ее уплотнение как результат того, что воздух оказывает давление на зерна смеси в направлении фильтрации. Степень уплотнения смеси в ящике или опоке за счет фильтрации зависит от разности давлений воздуха в начале и конце данного слоя смеси или участка формы. Из уравнения фильтрации следует, что эта разность давлений прямо пропорциональна высоте слоя смеси. Таким образом, чем больше высота стержня в положении набивки, тем больше будет уплотнение, получаемое при пескодувной его набивке за счет фактора фильтрации.

Для получения направленного потока фильтрации по стержню или его отростку необходимо венты располагать в основном в нижней части ящика или на конце отростка стержня. Чем длиннее и уже отросток стержня, тем больше его гидравлическое сопротивление и тем слабее будет проходить здесь воздушный поток фильтрации. Поэтому при недостаточной плотности набивки данного отростка стержня надо усилить его вентиляцию, т. е. добавить число вент на конце этого отростка.

Установка вент в верхней части ящика окажется с этой точки зрения только вредной, так как будет выводить часть воздушного потока в атмосферу, т. е. данная часть потока для уплотнения фильтрацией будет потеряна.

Чем больше суммарная площадь живого сечения вент, устанавливаемых в нижней части ящика или на концах отростков стержня, тем меньше давление на выходе и тем больше уплотнение смеси от фильтрации. Однако при увеличении суммарного сечения вент свыше 0,30...0,35 площади сечения стержня уплотнение уже не увеличивается, так как при этом лимитировать прохождение воздушного потока будет уже не сопротивление и сечение вент, а сопротивление и живое сечение пор смеси, т. е. ее естественная газопроницаемость. Расчет вент рассмотрен в подразд. 4.3.4.

В реальных условиях набивки форм и стержней на пескодувных машинах действуют оба фактора уплотняющего воздействия на смесь — и кинетическая энергия струи смеси, и фильтрация воздушного потока.

Плотность литейных форм, полученных с помощью пескодувного процесса, достигает 1,40...1,45 г/см^3 при обычном для цеховых условий давлении сжатого воздуха в сети 0,5...0,6 МПа.

В случае недостаточного уплотнения формовочных смесей рекомендуется проводить после надувки дополнительную подпрессовку с использованием механизма подпрессовки, например, мембранного типа. Он получается простым и легко встраивается в прижимной стол пескодувной машины. В настоящее время для получения безопочных форм широко используется пескодувный метод подачи смеси в формовочную камеру потоком, параллельным модельным плитам, которые заменяют собой торцовые стенки этой камеры. После заполнения камеры смесью производится двустороннее прессование смеси модельными плитами.

5.1.5. Импульсное уплотнение

При импульсном процессе, изобретенном в нашей стране более трех десятилетий назад, опоку с наполнительной рамкой устанавливают на модельную плиту. В опоку и рамку засыпают смесь и прижимают к герметичной камере. Затем в течение 0,01...0,10 с повышают давление газа в камере над смесью, в результате чего

газ с большой скоростью фильтруется через смесь, в смеси возникают сжимающие напряжения и форма уплотняется.

В настоящее время известны два способа быстрого повышения давления газа над смесью: воспламенение в замкнутом объеме над смесью горючего газа и подача сжатого воздуха из ресивера установки. В 1965—1968 гг. разработан первый способ, названный взрывным прессованием [34], при котором в герметичную камеру, прижатую к наполнительной рамке, подается горючий газ (например, метан), а иногда его смесь с кислородом. Газовоздушная или газовоздушно-кислородная смесь поджигается электрической искрой. При быстром сгорании газа давление над смесью поднимается до 2 МПа. В экспериментах использовали сжиженный пропан-бутан, природный метан или ацетилен.

Второй способ — пневмоимпульсное уплотнение — был разработан также в нашей стране в 1965—1970 гг. В этом случае опока с наполнительной рамкой прижимается к импульсной головке, состоящей из ресивера и герметичной камеры. В ресивере импульсной головки находится воздух под давлением 15...20 МПа (позже авторы метода стали рекомендовать давление 6...8 МПа). Ресивер отделен от герметичной камеры головки, к которой прижата опока, быстродействующим клапаном. При открытии клапана сжатый воздух поступает в пространство над смесью, давление в котором повышается до 1,2...1,5 МПа. Время роста давления составляет 0,007...0,015 с, процесс уплотнения длится 0,030...0,035 с.

В первых импульсных формовочных машинах, внедренных на производстве, давление над смесью достигало 1,2...3,0 МПа. При этом давление в ресивере машины составляло 9...12 МПа, такое давление требует установки в цехе компрессорной установки высокого давления непосредственно около импульсных машин. Использование сжатого воздуха от цеховой сети для уплотнения формовочных смесей стало возможным с появлением быстродействующих клапанов, позволяющих обеспечивать рост давления в камере над смесью со скоростью 136...156 МПа/с. До их появления такой рост давления можно было получать только при использовании высокого давления в ресивере машины.

Низкое давление (0,4...0,6 МПа) может быть получено не только при пневмоимпульсном методе, но и при взрывном прессовании с использованием порохового заряда.

В настоящее время импульсный процесс, протекающий при градиентах давлений 126...136 МПа/с, обычно называют «мягким», а процесс, протекающий при градиентах 140...156 МПа/с, — «жестким». Эти процессы различаются по результатам уплотнения.

Мягкий процесс уплотняет форму примерно на $^2/_3$ ее высоты окончательно, а на $^1/_3$ высоты снижение плотности такое же, как при встряхивании. Поэтому для форм, полученных «мягким» импульсом, обязательным является доуплотнение верхних слоев смеси

При проектировании оснастки для получения форм мягким импульсом следует устанавливать в модельной плите венты. Площадь вент должна составлять 0,06...0,12 площади опоки в свету.

При жестком импульсе форма уплотняется по всей высоте за исключением слоя 15...30 мм на контрладе формы, который следует срезать. Установка вент в оснастке не требуется. Недостатком жесткого импульсного процесса являются рыхлоты, которые могут возникать над высокими ребрами и глубокими болванами в оснастке, что делает форму непригодной к использованию. Импульсными методами можно уплотнять формы высотой от 200 мм. Верхний предел высоты по разным источникам составляет 500...800 мм.

Известна еще одна модификация импульсного уплотнения — нижнее импульсное уплотнение. При этом процессе опока устанавливается на наполнительную рамку, которая по объему должна быть больше, чем обычная, так как она должна принять больше смеси. Смесь засыпают в опоку и рамку так, чтобы она не касалась модельной оснастки, которая сверху (после засыпки смеси) прижимается к опоке. При этом плита повернута моделями вниз. В днище рамки-дозатора вмонтирована сетка, на которой лежит доза рыхлой смеси. При быстром подъеме давления воздуха под сеткой смесь потоком воздуха перемещается к модельной плите, прижимается к ней, после чего начинается импульсный процесс уплотнения. При «полете» смесь движется не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлениях, обтекая модель. Контрлад формы после уплотнения обычно не имеет выступов над моделью.

Расстояние от верхнего уровня смеси в дозаторе до модельной плиты близко к высоте опоки, поэтому давление воздуха со стороны контрлада примерно такое же, как и при обычном импульсном процессе с низким давлением газа. Однако максимальное значение скорости смеси при нижнем импульсном процессе больше, чем при обычном импульсном процессе. Больше и инерционные силы, так как смесь разгоняется не только при уплотнении, но и при «полете» к модели. Поэтому рыхлая зона на контрладе практически отсутствует; твердость смеси здесь равна 20...30 ед. по твердомеру 04412А.

Важная особенность нижнего импульсного уплотнения — расположение модельной оснастки в момент уплотнения полуформы моделями вниз. При таком методе не нужно кантовать нижнюю полуформу перед сборкой, что упрощает и удешевляет линию формовки, так как в ней не требуется устанавливать кантователь нижних полуформ.

В литературе появились сведения об импульсных методах, при которых резкий перепад давления воздуха над полуформой и под ней создается за счет высокоскоростного вакуумирования полости под модельной плитой. Такой процесс не может окончательно уплотнить форму из-за малого перепада давлений, но предварительное распределение смеси в оснастке он вполне должен обеспечить.

5.1.6. Прессово-ударное уплотнение

Этот процесс уплотнения получил в настоящее время широкое распространение. В этом случае процесс уплотнения происходит при одновременном действии двух уплотняющих механизмов: прессового и ударного. Во время нагружения формы усилием прессования в работу включается ударник, наносящий удары по столу машины [1]. За время прессования формы он успевает нанести 12—16 ударов. Прессово-ударное уплотнение состоит из двух процессов: собственно прессово-ударного прессования, при котором в сжатой (напряженной) смеси в результате удара резко возрастают напряжения, и статического прессования, протекающего между ударами. При ударе резко уменьшается коэффициент бокового давления и, возможно, коэффициент внешнего трения. Эти явления свойственны всем методам динамического уплотнения, однако здесь они развиваются при значительно бóльших напряжениях, чем в других процессах.

Процесс позволяет увеличить плотность и равномерность уплотнения нижней части формы. Возможно, что получаемый эффект является результатом уменьшения бокового давления из-за колебаний оснастки вследствие удара. Плотность смеси при прессово-ударном процессе при одних и тех же сжимающих напряжениях выше, чем при прессовании.

5.1.7. Уплотнение форм из самотвердеющих смесей

В современном литейном производстве все большую роль играет процесс получения литейных форм из самотвердеющих смесей, которые не нуждаются в уплотнении в общепринятом смысле слова. Однако при засыпке смеси в оснастку они (эти смеси) могут не заполнить полости оснастки равномерно и достаточно плотно, чтобы последующее химическое отверждение обеспечило необходимое качество формы во всех ее частях. Для решения этой задачи первоначально применяли пескометы, а в настоящее время применяют вибростолы, на которые устанавливается оснастка. Размеры и частоты вибрации подбирают, исходя из размеров изготовляемых форм.

5.2. ТЕПЛОВЫЕ СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ

Формы и стержни сушат для повышения прочности, газопроницаемости и снижения газотворности. Сырую форму можно использовать при давлении жидкого метала менее 0,1 МПа (1 кгс/см^2). В противном случае ухудшается качество отливок — снижается их точность, качество поверхности, появляются газовые дефекты и т. п. Поэтому при изготовлении крупных массивных отливок сырую

форму подсушивают или сушат. В подсушенных формах изготовляют не только крупные отливки, но и ответственные толстостенные отливки до 100 кг, которые имеют толщину стенок порядка 30 мм и подвергаются механической обработке по всему контуру. В таких отливках, изготовленных в сырых формах, наблюдается повышенный брак по газовым раковинам. На КамАЗе при изготовлении литейной формы для блока цилиндров в автоматизированную формовочную линию вмонтирована установка поверхностной подсушки форм.

Под сушкой подразумевают процесс, в котором наряду с удалением влаги происходят и физико-химические процессы, приводящие к повышению прочности и газопроницаемости высушиваемых форм или стержней.

Процесс сушки сырых песчано-глинистых форм начинается с испарения влаги с поверхностных слоев формы (стержня), затем влага из глубинных слоев перемещается к поверхностным за счет диффузии и этот процесс поддерживают до полного испарения влаги во всем объеме.

По мере удаления влаги из глины происходит упрочнение смеси, однако форму не доводят до полного обжига глины и получения камнеподобного состояния. При сушке из глины не должна быть удалена конституционная влага и потери должны быть сведены к минимуму. Потеря конституционной влаги происходит в интервале температур 350...700 °С. Для обеспечения минимально возможного времени сушки температуру сушки выбирают максимальной, но только ненамного превышающей температуру начала потери конституционной воды (табл. 5.1). Чрезвычайно важным моментом является точное определение времени сушки, так как на основании именно этого показателя можно установить емкость

Таблица 5.1. **Температура и время сушки песчано-глинистых форм**

Средние размеры опок в свету, мм	Чугун и сплавы цветных металлов				Стальные отливки			
	Первичная сушка		Подсушка после ремонта		Первичная сушка		Подсушка после ремонта	
	t, °С	τ, ч	t, °С	τ, ч	t, °С	τ, ч	t, °С	τ, ч
500×600... 1200×800	350... 400	4...5	180	0,50	400... 450	8... 12	200	0,5
1200×900... 300×2000	350... 400	6...7	200	1,00... 1,25	400... 450	16	200	1,5
8500×2000... 5500×4000	400... 450	8...9	200	1,50... 2,00	450... 475	20	200	1,5
5000×3500... 5500×4000	400... 450	10...11	200	2,00... 4,00	450... 475	18... 24	200	2,0... 3,0
Свыше 5500×4000	450	12...15	200	3,00... 6,00	475	24... 36	200	4,0... 6,0

(размеры) сушила. Из-за отсутствия даже простейших методов расчета процессов сушки пользуются практическими данными о времени сушки (см. табл. 5.1). Органические связующие, например масла, наряду с испарением влаги испытывают окисление и полимеризацию. Для смол и пеков характерно то, что сначала они плавятся, а затем отверждаются. Температура сушки для связующих СП, СБ, КО (см. гл. 3) составляет 250...300 °С, для различных масел — 180...230 °С. Сушка стержней проводится по всему объему.

Выбор оборудования осуществляется с учетом режима сушки [22]. При сушке форм и стержней используют три способа: конвективная сушка горячими газами, инфракрасным излучением и токами высокой частоты. Способ конвективной сушки горячими газами осуществляется в камерных сушилах и обеспечивает скорость сушки 15...20 мм/ч. При сушке инфракрасным излучением используется теплота, излучаемая нагретой пластиной из металла. Скорость сушки этим способом 30...40 мм/ч. Сушка токами высокой частоты осуществляется за счет теплоты, выделяемой переменным током при прохождении литейной формы между пластинами колебательного контура генератора высокой частоты. Скорость сушки составляет 5...10 мм/мин.

5.2.1. Сушка форм и стержней горячими газами

Крупные литейные формы общей массой форм до 200 т высушиваются в камерных ямных сушилах, которые сооружаются ниже уровня пола цеха; сверху камера перекрывается съемными сводами. Формы загружают непосредственно в сушильную печь. С этой целью свод снимается краном, затем после полной загрузки рабочей камеры свод устанавливается на прежнее место.

Для форм (стержней), которые не нуждаются в сквозной сушке и изготовляются с использованием быстросохнущих связующих СБ, СП, достаточно подсушить лишь слой их рабочей поверхности толщиной 20...50 мм. При температуре сушки 280...300 °С в течение 20...30 мин получается глубина подсушенного слоя 8...10 мм, а при длительности сушки 60...90 мин

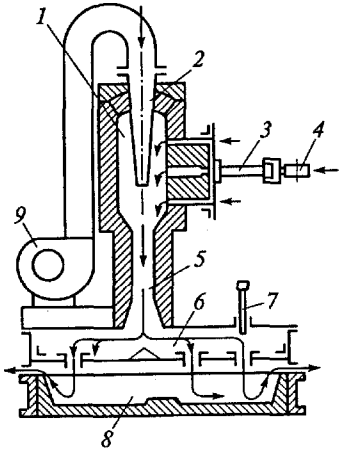


Рис. 5.10. Переносное газовое сушило:
1 — топка; *2* — сопло; *3* — горелка; *4* — гибкий шланг; *5* — газовый смеситель; *6* — распределительная камера; *7* — термометр; *8* — форма; *9* — вентилятор

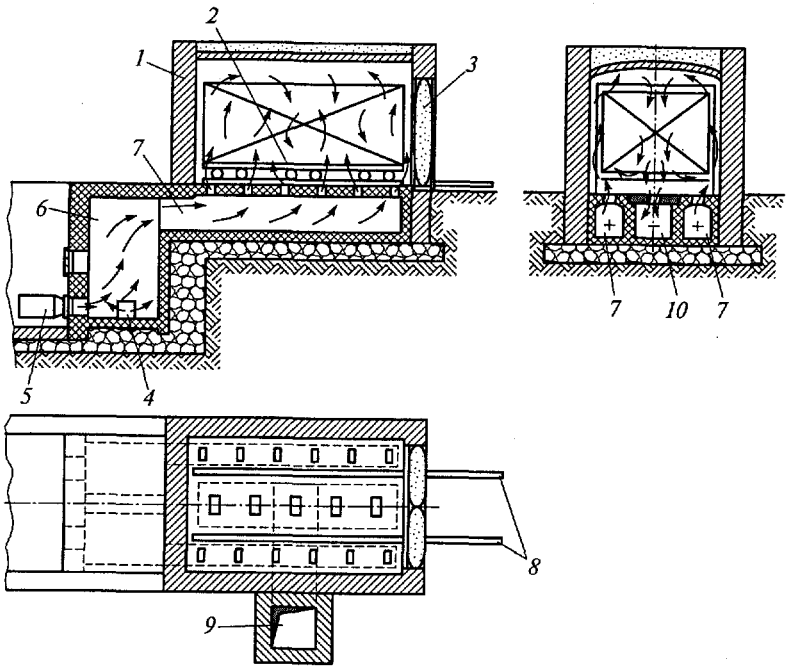


Рис. 5.11. Камерная сушильная печь с выкатной тележкой:

1 — камера; *2* — тележка; *3* — теплоизолированная дверь; *4*, *7* — каналы; *5* — горелка; *6* — топка; *8* — рельсы; *9* — труба; *10* — вытяжной канал; стрелками показан поток газовоздушной смеси

глубина подсушенного слоя составляет 20...30 мм. Для песчано-глинистых смесей при температуре 280...300 °С и длительности сушки 40...60 мин глубина подсушенного слоя составляет 15...20 мм.

Для поверхностной сушки используются переносные газовые сушила (рис. 5.10). На форму *8* устанавливается короб распределительной камеры *6*. В верхней части короба вмонтированы газовый смеситель *5* и топка *1*. Воздух нагнетается в топку вентилятором *9* по трубопроводу через сопло *2*. Горючие газы поступают в горелку *3* по гибкому шлангу *4*. Вторичный воздух из атмосферы проходит через боковые отверстия в направлении, показанном на схеме стрелками. Контроль температуры осуществляется термометром *7*.

Современные камерные тупиковые и проходные сушильные печи, работающие на природном газе, применяются для сушки и подсушки форм и крупных стержней (рис. 5.11).

Сушильная печь, или сушило, состоит из топки *6* с приточными каналами *7* и вытяжного канала *10* с горелками *5*, из которых поступает топливо в топку *6*. Дополнительный воздух поступает по каналу *4*.

После закатывания тележки *2* с формой или стержнями по рельсам *8* в камеру проем закрывается опускающейся футерованной и теплоизолированной дверью *3*.

Продукты сгорания смешиваются с воздухом и в виде газовоздушной смеси, нагретой до температуры, необходимой для сушки форм и стержней, подаются в приточные каналы *7*. Из приточных каналов нагретая газовоздушная смесь через щели поступает в рабочую камеру, омывая форму и стержни. Теплоизоляция сушил выполняется панелями из алюминиевой фольги и асбоцементных плит, обеспечивающих нагрев наружных стенок ниже 40 °С.

В проходных сушилах вместо дверей устраивают воздушные завесы, позволяющие поддерживать в камере необходимый тепловой режим.

Для мелких стержней при небольших объемах производства применяют сушильные шкафы с секторными или прямо выдвигающимися полками. В таких сушилах-шкафах можно сушить стержни, требующие различного времени сушки, т.е. разгружая сухие стержни с одних полок и продолжая сушку стержней на других.

5.2.2. Сушка инфракрасным излучением

Поверхностная сушка форм возможна также ифракрасными лучами. С этой целью применяют зеркальные лампы с внутренней посеребренной поверхностью мощностью 250 и 500 Вт. Средняя температура поверхности формы (стержня) при этом способе сушки составляет 120...170 °С и регулируется путем изменения числа ламп или расстояния между лампами и поверхностью формы.

В качестве инфракрасного излучения используются также другие тела, в частности керамические панели, нагреваемые газом до температуры 800...900 °С. Панельная установка, работающая по этой технологии, представлена на рис. 5.12. Данная установка предназначена для поверхностной сушки форм и стержней и состоит из металлического каркаса *7*, покрытого теплоизолирующим слоем *1*, и бортовых отсосов *9*. Внутри каркаса смонтирована подвижная рама *8* со встроенными панельными горелками *3*, которые образуют свод печи. В печи размещаются одновременно две полуформы. Для перемещения свода служит система блоков, приводимая в действие приводом *6*. Ограничениями служат конечные выключатели *2* и *4*. В процессе подсушки полуформы *5* движутся непрерывно от формовочной машины по рольгангу, приводимому в движение приводом *12* с тяговой цепью *10*, вначале на первую, а затем на вторую позицию печи и выходят из нее с противоположной стороны. Здесь опоку необходимо своевременно снять с рольганга мостовым краном, в противном случае привод остановится от сигнала конечного выключателя *11*. Отработанные газы удаляются наружу через дымоход.

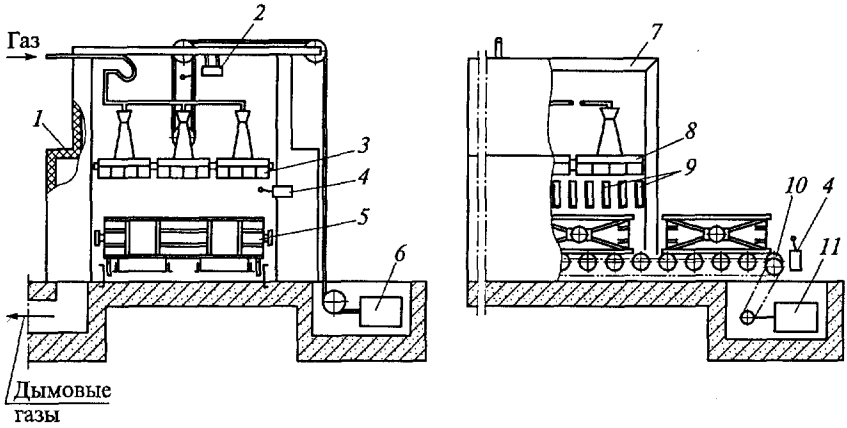


Рис. 5.12. Панельная установка для подсушки форм:

1 — теплоизолирующий слой; *2, 4* — конечные выключатели; *3* — панельная горелка; *5* — полуформа; *6, 11* — приводы; *7* — каркас; *8* — подвижная рама; *9* — бортовые отсосы; *10* — цепь

На бывшем заводе «Станколит» такие установки применяли для подсушки полуформ с размерами 1000 × 1500 мм и высотой до 600 мм. Длительность подсушки составляла 10... 15 мин.

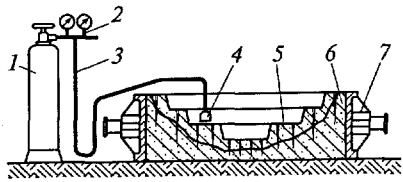
5.2.3. Сушка токами высокой частоты

Сушка основана на том, что диэлектрик, размещенный между двумя пластинами конденсатора, питаемого токами высокой частоты, нагревается. При этом нагрев происходит по всему объему. Так можно сушить стержни, изготовленные на связующих, не требующие окислительного процесса при затвердевании и не имеющие металлических каркасов внутри. Для успешной сушки камера должна иметь теплоизоляцию и дополнительный источник нагрева воздуха до температуры 120... 180 °С.

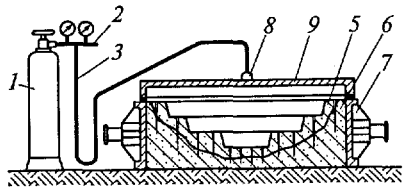
Электроды нужно располагать в двух плоскостях. Электрические параметры должны регулироваться. Несмотря на то, что скорость сушки стержней сокращается в 10—12 раз, по сравнению с тепловой сушкой, установки не находят пока широкого применения из-за сложности технологии и ее высокой стоимости.

5.3. ХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ

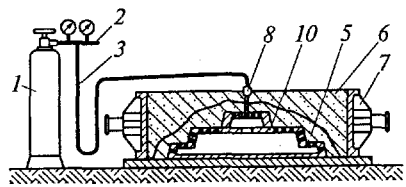
По существу все стержневые смеси (кроме песчано-глинистых) упрочняются за счет протекания химических процессов, включая и тепловую сушку, рассмотренную выше, и отверждение в нагре-



а



б



в

Рис. 5.13. Способы продувки форм углекислым газом:

а, *б* — после удаления модели; *в* — до удаления модели; *1* — баллон с CO_2; *2* — редуктор; *3* — резиновый шланг; *4* — сопло; *5* — химически твердеющая облицовочная смесь; *6* — наполнительная смесь; *7* — опока; *8* — ниппель; *9* — зонт; *10* — модель

той оснастке. За счет химических реакций, главным образом полимеризации и поликонденсации, без использования теплоты отверждаются все самотвердеющие смеси: на жидком стекле, с фосфатным связующим, цементами и гипсовыми материалами и, главным образом, с синтетическими смолами. Химическое отверждение осуществляется в основном в оснастке с введением в смесь жидких или газообразных отвердителей (катализаторов). Подробно смеси и связующие, отверждаемые с протеканием химических процессов, рассмотрены в гл. 3.

Технологический процесс изготовления форм и стержней по CO_2-процессу с использованием жидкого стекла выполняют в той же последовательности, что и при использовании обычных смесей. Особенности CO_2-процесса заключаются в основном в подготовке модельной оснастки и в продувке смеси углекислым газом.

Продувку углекислым газом ведут под давлением 6 МПа. Существуют два способа продувки углекислым газом: после удаления модели (рис. 5.13, *а*, *б*) и до удаления модели (рис. 5.13, *в*).

При первом способе форму продувают из специальных сопел через наколы в облицовочном слое (см. рис. 5.13, *а*) или перекрыв форму зонтом (см. рис. 5.13, *б*). В этом случае облицовочные смеси должны иметь высокую «сырую прочность» для обеспечения качественного извлечения модели.

При втором способе продувку выполняют через полость модели и отверстия в ее стенках. При этом применяют смеси с низкой сырой прочностью.

5.4. ФИЗИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ

5.4.1. Вакуумно-пленочный способ изготовления формы

Суть способа заключается в том, что песок, ограниченный со стороны лада и контрлада пластичными термостойкими полимерными пленками, упрочняется за счет вакуума, создаваемого в герметичной литейной форме [30].

Разрежение в форме поддерживается как во время изготовления литейной формы, так и во время ее заливки и охлаждения отливок до температуры выбивки.

На рис. 5.14 показаны основные технологические операции по изготовлению полуформы. В модельной плите *3* и модели *2* (деревянной, пластмассовой, металлической) просверливаются отверстия О диаметром 0,5...1,0 мм, которые сообщаются с вакуумируемой полостью *1* (рис. 5.14, *а*). Модельная плита с моделью накрывается этиленвинилацетатной пленкой *6* (рис. 5.14, *б*), предварительно нагретой на рамке *5* электронагревателем. Важно, чтобы пленка не имела складок. Затем под моделью в полости *1* с помощью вакуумного насоса создается вакуум порядка 40...50 кПа. При этом пленка плотно облегает модельную плиту и модель (рис. 5.14, *в*). Съемную модель стояка *7* обертывают пленкой, закрепляя ее края клейкой лентой, и ставят на бобышку *8*, уплотняя ее стык со стояком клейкой лентой. Аналогично оформляют выпор *9*. Затем устанавливают опоку *10*, имеющую отсасывающую перфорированную трубку *11* с коллектором *12* (рис. 5.14, *г*). Отверстия в трубе закрыты сеткой, чтобы песок не проникал внутрь трубы. Края пленки отгибают и закрепляют на опоке магнитом *13*.

Опоку заполняют сухим песком и уплотняют вибрацией (рис. 5.14, *д*). После этого на контрлад опоки накладывают пленку *14* и через трубку *11* вакуумируют форму (рис. 5.14, *е*). Предварительно уплотненный вибрацией песок уплотняется под действием атмосферного давления, и форма приобретает высокую прочность. Твердость такой формы достигает 90 ед. Затем в пленке *14* делают надрез и извлекают модель стояка, а под выпором вырезают в пленке отверстие, несколько меньшее его верхнего диаметра. После этого отключают полость *1* модельной плиты от вакуумного насоса и снимают полуформу с модельной плиты (рис. 5.14, *ж*). Таким же образом изготовляется нижняя полуформа, далее производится сборка, если необходимо форму нагружают и затем проводят заливку.

Описанный выше способ изготовления формы, называемый вакуумно-пленочной формовкой, или V-процессом, изобретен в Японии в 1972 г. В этом способе прочность формы обеспечивает атмосферное давление, которое всесторонне сжимает песок за счет разности давлений атмосферы и разрежения в форме.

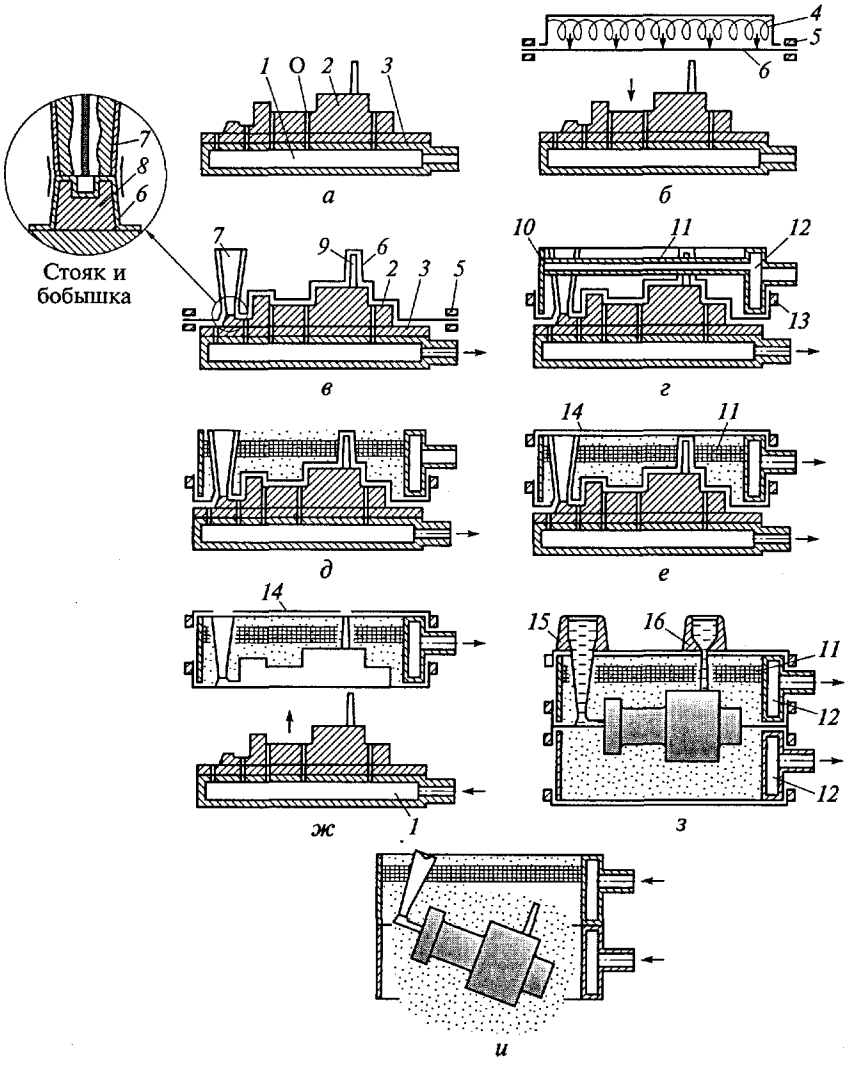


Рис. 5.14. Основные технологические операции по изготовлению полуформы вакуумно-пленочным методом:

а — подготовка модельного комплекта; *б* — нагрев пленки; *в* — накладывание пленки на поверхность и создание разрежения под модельным комплектом; *г* — установка опоки; *д* — заполнение опоки сухим песком и накладывание пленки со стороны контрлада; *е* — вакуумирование формы; *ж* — снятие вакуума из-под модельного комплекта и выем последнего из полуформы; *з* — сборка формы и заливка; *и* — снятие вакуума в форме и удаление отливок; *1* — вакуумируемая полость; *2* — модель; *3* — модельная плита; *4* — электронагреватель; *5* — рамка; *6, 14* — пленки; *7* — стояк; *8* — бобышка; *9* — выпор; *10* — опока; *11* — перфорированная трубка; *12* — коллектор; *13* — магнит; *15, 16* — чаши; О — отверстие; стрелками показано направление потока воздуха

Объем песка при всестороннем сжатии способен сохранять приданную ему форму и после удаления модели. На этой особенности песка основана технология вакуумно-пленочной формовки (V-процесса), по которой после создания разрежения в порах песка его подвергают всестороннему прессованию силой, определяемой разностью атмосферного давления и давления в порах песка.

При заливке происходит термодеструкция пленки, но целостность формы сохраняется. Остаточное давление, при котором форма не разрушается, составляет 100 мм рт. ст. (13,3 кПа), при более глубоком разрежении жидкий металл начинает проникать в поры формы.

К преимуществам способа следует отнести то, что применяя деревянную оснастку можно получать отливки массой 0,2...2,0 т с более высокими точностью размеров и качеством поверхности, чем при литье в песчано-глинистые формы. При этом нет операции сушки, отсутствуют испарения и газы от сгорания связующего. В Японии этот процесс успешно применяют для производства душевых ванн и поддонов. Немаловажное значение имеет и тот факт, что отливки при выбивке из опок не испытывают сильного механического воздействия, характерного для других способов литья.

Установлено, что качеством поверхности можно управлять, варьируя размером и однородностью песка и степенью разрежения.

5.4.2. Литье по газифицируемым моделям

Суть способа заключается в использовании пенополистироловых моделей, изготовленных при высоких давлении и температуре в пресс-формах [54]. Эти модели, обладающие высокими точностью и качеством поверхности, собираются с элементами литниковой системы. В известной за рубежом технологии Policast-процесс модели изготовляют на специальных автоматах производительностью 40—50 съемов в час. Сборка моделей при помощи термоклея происходит на вакуумном прессе. Модельные блоки собирают методом сварки при температуре 150 °С на карусельной установке производительностью 120 циклов в час.

При использовании пенополистироловых моделей применяют несколько способов изготовления самой формы. Поэтому общее название всех способов остается одинаковым — литье по газифицируемым моделям (ЛГМ), а способ изготовления формы указывается дополнительными буквами. Выделим несколько способов изготовления формы, в которых используется ЛГМ, и назовем область применения технологии:

• ЛГМ-П — в опоку-контейнер устанавливают модели и засыпают сухой песок без связующего, уплотняя песок вибрацией. Область применения — единичное, серийное и крупносерийное про-

изводство отливок из серого, высокопрочного и ковкого чугунов и сталей, медных и алюминиевых сплавов массой до 50 кг;

• ЛГМ-М — в опоку-контейнер устанавливают модели и засыпают ферромагнитные сыпучие материалы, затем форма помещается в магнитное поле и упрочняется (магнитная формовка). Однако магнитная формовка не получила широкого применения из-за использования дорогостоящего металлического песка (дроби), экономия в отдельных случаях приближалась к нулю по сравнению с известными способами, хотя эта технология и обеспечивала высокое качество отливок. Область применения ЛГМ-М — серийное и крупносерийное производство отливок из черных и цветных сплавов массой до 50 кг;

• ЛГМ-ПВ — формы изготовляют из песка с использованием вакуума, как описано в подразд. 5.1.4, при этом используется газифицированная модель из пенополистирола. На предприятии «Сатурн» (г. Москва) установлена автоматическая линия, изготовляющая по технологии ЛГВ-ПВ отливки коленчатого вала и впускного коллектора из высокопрочного чугуна, головки блока и блока цилиндров из алюминиевого сплава. Продукты термодеструкции модели направляются в установку каталитического дожигания газов до углекислого газа и паров воды, т.е. в данном методе решается экологическая задача. Следует отметить высокую размерную точность отливок, полученных по технологии ЛГМ-ПВ;

• ЛГМ-ПК — разновидность технологии ЛВМ-ПВ, имеет фирменное название Policast-процесс. Газифицируемые модели собираются в кусты на стояке, заформовываются в песок с применением вакуума. Область применения — серийное и крупносерийное производство отливок из черных и цветных сплавов.

К преимуществам технологии ЛГМ можно отнести:

• исключение из производственного процесса стержневого, формовочного и смесеприготовительного оборудования по сравнению с литьем в песчано-глинистые формы;

• уменьшение затрат на оборудование, оснастку и материалы;

• возможность комплексной автоматизации всего технологического процесса.

ГЛАВА 6

ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ФОРМОВКИ

Технологический процесс изготовления литейных форм называется формовкой. В зависимости от степени механизации бывает ручная, машинная и автоматизированная формовка.

При ручной формовке большинство операций немеханизированное. Несмотря на то, что ручной труд является тяжелым и малопроизводительным и требует приобретения навыков в течение длительного времени, ручная формовка до сегодняшнего дня применяется в литейных цехах, особенно при необходимости изготовления одной или нескольких отливок (единичное и мелкосерийное производство).

Использование в этом случае существующего дорогостоящего оборудования и оснастки для механизации процесса не имеет смысла. Кроме того, существуют технологические процессы, механизация которых затруднена, например изготовление форм для крупных отливок (формовка в глине).

Ручная формовка используется в основном в единичном производстве при изготовлении штучных отливок; машинное и автоматизированное производство для изготовления, главным образом, мелких отливок используется в массовом и крупносерийном производстве.

При ручной формовке часто используют сырые песчано-глинистые формы. Однако ручную формовку применяют предпочтительнее при изготовлении крупных отливок, при этом литейные формы высушивают, главным образом, для увеличения прочности. Исключительно ручной формовкой изготовляют отливки массой более 10 кг. При этом используют формовку в почве (кессонах).

Технология ручной формовки	*Масса отливок, т*
Литье в сырые песчано-глинистые формы:	
формовка по разъемным моделям	До 1
формовка в парных опоках	До 1
формовка по шаблону	До 1
формовка по скелетным моделям	До 1
Литье в подсушенные и сухие формы	1...5
Формовка в стержнях	5...10
Формовка в почве (кессонах)	Свыше 10

Для сохранения качества (например, точности размеров) отливок в сырых песчано-глинистых формах рекомендуется изготовлять отливки массой до 500...1000 кг.

6.1. ФОРМОВОЧНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Инструмент, применяемый при ручных формовочных работах, можно разделить на две группы: инструмент, применяемый при набивке формовочной смеси и при удалении модели из формы, и инструмент, применяемый при отделке формы [2].

Для набивки формовочной смеси используют ручные и пневматические трамбовки. Для мелких форм применяют ручную трамбовку (рис. 6.1). Один конец ее делают клиновидным, и он служит для набивки смеси по краям опоки, в узких местах, у крестовин, между моделями и у стенок высоких моделей. Другой конец, плоский, служит для набивки плоских и верхних слоев земли.

Для средних и крупных форм применяют пневматические трамбовки, которые способствуют значительному повышению производительности труда.

Кроме трамбовок каждый формовщик должен иметь еще следующий инструмент: лопату для засыпания смеси в опоки и выкапывания ямы при почвенной формовке; прямые и изогнутые проволочные иглы (рис. 6.2, *а*) диаметром 1,5; 2; 3; 5; 8 и 10 мм для накалывания вентиляционных каналов; кисть; помазок для смачивания смеси по кромке модели до ее выемки из формы, а также при исправлении повреждений формы; крючок для вытаскивания моделей (рис. 6.2, *б*); щетки для протирки моделей; мехи для выдувания сора; мешок для припыла; пульверизатор; уровень; молоток для расталкивания небольших моделей при выемке из формы; сито прямоугольное с металлической сеткой с ячейками 2...6 мм для засеивания модели облицовочной смесью и ведро вместимостью 5 л для воды.

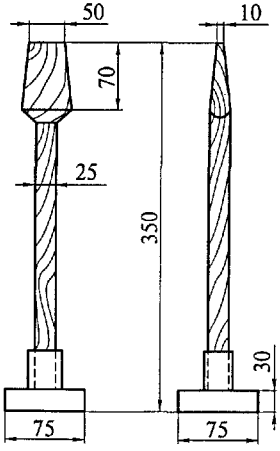


Рис. 6.1. Ручная трамбовка

Для отделки поверхностей и исправления повреждений форм и стержней применяют отделочный инструмент, основные виды которого приведены на рис. 6.2, *в*—*и*. Гладилки плоские с прямоугольным (см. рис. 6.2, *в*), закругленным (см. рис. 6.2, *г*), заостренным (см. рис. 6.2, *д*) лезвием применяют для выглаживания плоскостей и прорезания углублений. Ланцеты (см. рис. 6.2, *е*) применяют для подрезания и

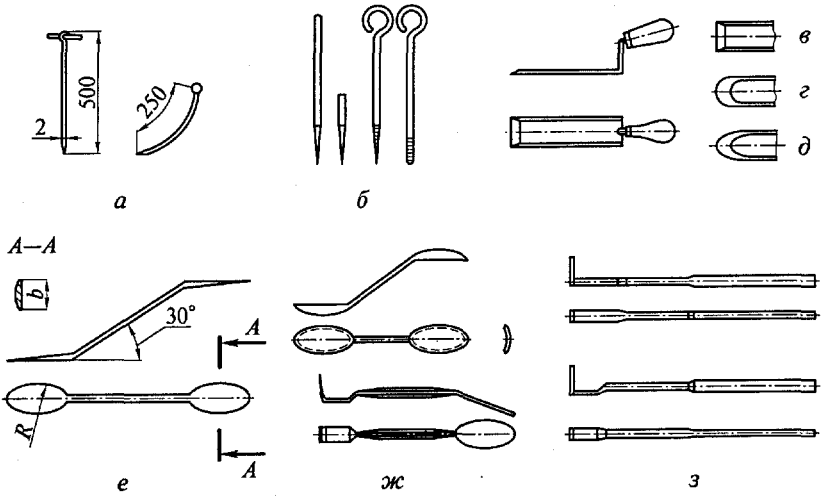
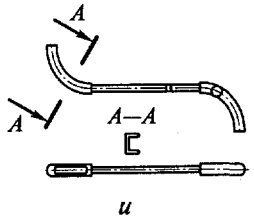


Рис. 6.2. Формовочный и отделочный инструмент:

а — прямые и изогнутые иглы для накалывания вентиляционных каналов; *б* — крючки («подъемы») для вытаскивания моделей; *в*, *г*, *д* — гладилки плоские с прямоугольным, закругленным и заостренным лезвием соответственно; *е* — ланцеты («карасики»); *ж* — ложечки; *з* — формовочные крючки; *и* — полозки; *R* — радиус скругления; *b* — ширина ланцеты



выглаживания небольших поверхностей в местах, не доступных для работы гладилками. Ложечки (см. рис. 6.2, *ж*) овальные и яйцевидные служат для отделки криволинейных поверхностей, углублений и переходов. Формовочные крюки (прямые, с пяткой, с ланцетом) (см. рис. 6.2, *з*) используют для подрезания формы и удаления оставшейся земли из узких и глубоких мест. Полозки прямые (плоские и выпуклые) (см. рис. 6.2, *и*) применяют для отделки прямого дна и впадин.

Последовательность двадцати четырех операций при ручной формовке в парных опоках по неразъемной модели отражена на рис. 6.3:

1 — на щиток устанавливают модель так, чтобы она прилегала к щитку плоской поверхностью;

2 — устанавливают нижнюю опоку и припыливают модель ликоподием (тальком, графитом);

3 — на модель и щиток через сито наносят слой облицовочной смеси толщиной 10...15 мм;

4 — насыпают в опоку наполнительную смесь;

5 — уплотняют смесь клиновидной трамбовкой;

6 — уплотняют смесь плоской трамбовкой;

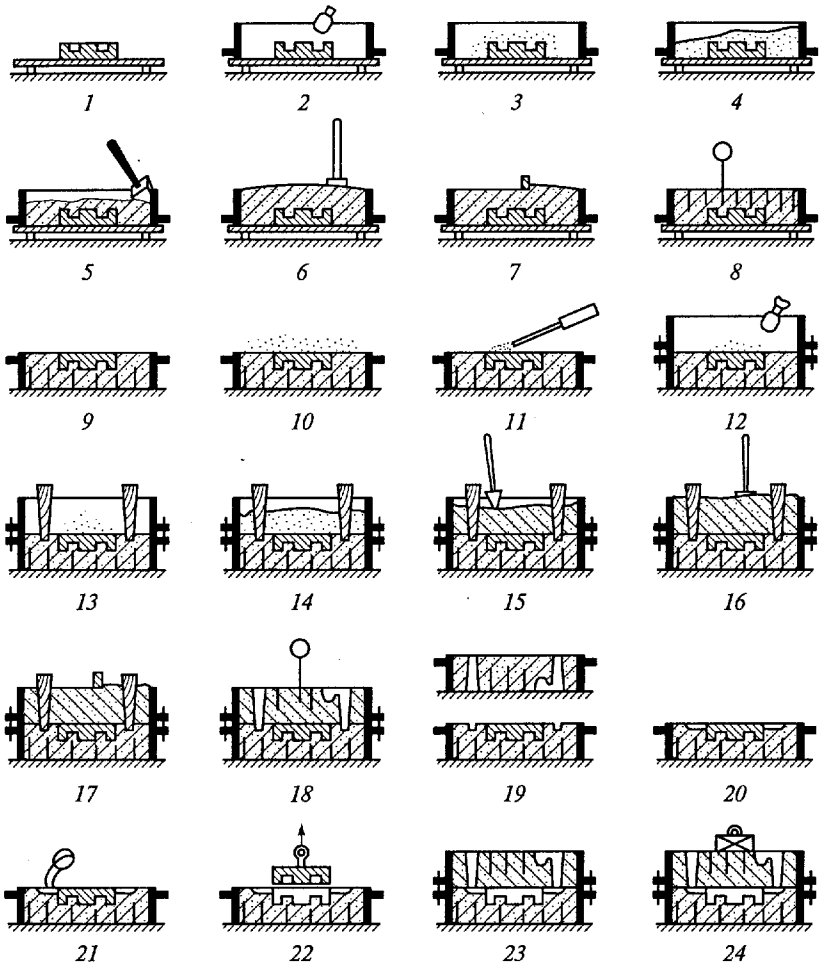


Рис. 6.3. Последовательность операций при ручной формовке в парных опоках по неразъемной модели

7 — срезают излишки смеси линейкой вровень с краями опоки;

8 — выполняют вентиляционные каналы;

9 — переворачивают нижнюю опоку и заглаживают поверхность гладилкой;

10 — посыпают плоскость разъема сухим песком;

11 — сдувают излишки смеси;

12 — устанавливают по штырям верхнюю опоку и припыливают поверхность модели;

13 — устанавливают модели стояка и выпора, наносят на поверхность облицовочный слой смеси;

14 — насыпают в опоку наполнительную смесь;

15, 16 — уплотняют смесь клиновидной и плоской трамбовкой соответственно;

17 — срезают излишки смеси;

18 — делают вентиляционные каналы, оформляют вручную литниковую чашу (воронку) и извлекают модели стояка и выпора;

19 — снимают и переворачивают верхнюю опоку;

20 — прорезают шлакоуловитель и питатели;

21 — смачивают смесь вокруг модели водой;

22 — вставляют в модель крючок для ее выема, расталкивают модель и извлекают ее из нижней полуформы;

23 — устанавливают на место верхнюю опоку;

24 — устанавливают на форму груз.

Ниже рассмотрены наиболее распространенные методы ручной формовки, применяемые в настоящее время в литейных цехах, а именно: формовка по моделям в почве (кессоне), в мягкой постели, в твердой постели, в опоках, с подрезкой, с отъемными частями, с перекидным болваном, с подъемным болваном, с фальшивой опокой, формовка по шаблону, формовка в стержнях, формовка по скелетным моделям.

6.2. ФОРМОВКА В ПОЧВЕ (КЕССОНАХ)

Кессон — большая яма, выложенная кирпичом или бетонированная, имеющая хорошую гидроизоляцию от грунтовых вод.

Перед изготовлением формы на плацу готовится «постель» мягкая или твердая. Твердая применяется при изготовлении крупных, массивных отливок, имеющих большую высоту, мягкая — для развитых, невысоких отливок.

6.2.1. Формовка в мягкой постели

Для получения постели в полу литейного цеха выкапывают яму заведомо большего размера в плане, чем размеры модели (на 150... 200 мм). Дно и стенки ямы хорошо утрамбовывают и заполняют наполнительной формовочной смесью (рис. 6.4).

По краям ямы при помощи уровня устанавливают два металлических бруска *3*, на которые укладывают деревянные *1* или металлические рейки. Высота реек выбирается в зависимости от необходимой плотности постели: чем выше должна быть плотность постели, тем больше высота реек.

Образовавшийся объем засыпают через сито облицовочной смесью *2* и удаляют рейки.

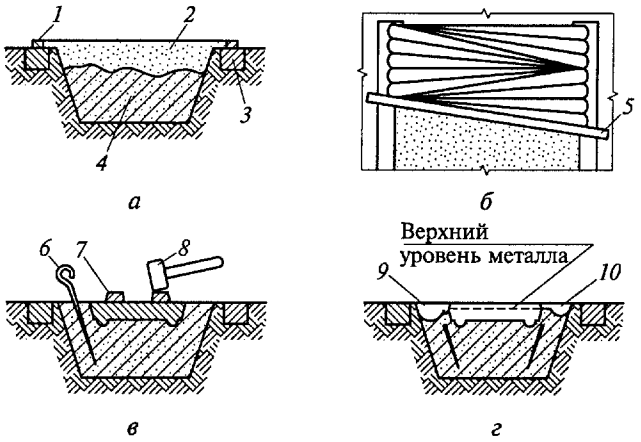


Рис. 6.4. Формовка в мягкой постели:

а, б — изготовление формы; *в* — осадка модели; *г* — готовая модель; *1* — деревянная рейка; *2* — облицовочная смесь; *3* — металлический брусок; *4* — формовочная смесь; *5* — деревянная планка; *6* — вентиляционная игла; *7* — модель; *8* — молоток; *9* — приемная литниковая чаша; *10* — сливной резервуар

Вслед за этим уплотняют облицовочный слой с помощью планки *5*, при этом переменно один ее конец оставляют на месте, а другим придавливают смесь, одновременно передвигая его по бруску, как показано на рис. 6.4, *б* (вид на «мягкую постель» сверху). После выполнения этой операции производят срезание излишков смеси, для чего перемещают специальную линейку по брускам. В подготовленную таким образом постель осаживают модель *7*, ударяя по ней деревянным молотком *8*. При этом формовщик должен внимательно следить за тем, чтобы погружение модели осуществлялось равномерно, без перекосов.

Модели, применяемые для формовки по мягкой постели, как правило, имеют небольшую высоту и плоскую поверхность. Это позволяет без особого труда осуществить их полное погружение. При этом под выступающими частями модели выкапывают углубления, что обеспечивает равномерное уплотнение смеси под всей моделью. После осаживания модели на всю ее высоту необходимо дополнительно уплотнить смесь с боков модели и срезать излишки смеси. В уплотненной постели вентиляционной иглой *6* накалывают вентиляционные отверстия по периметру модели для повышения газопроницаемости формы и предотвращения образования газовых раковин в отливке.

Для заливки жидким металлом вырезают приемную литниковую чашу *9* и сливной резервуар *10*. Появление металла в резервуаре *10* является сигналом того, что форма заполнена металлом. Если сливной резервуар не сделать, то возможно получение такого брака, как залив на отливке.

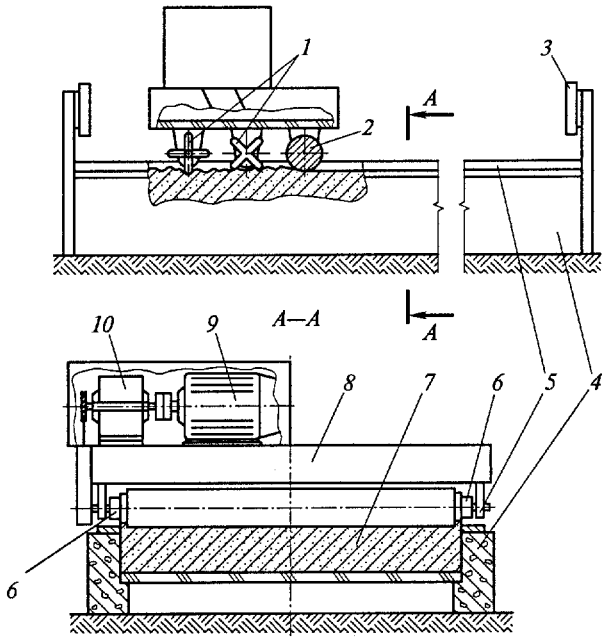


Рис. 6.5. Установка для приготовления мягкой постели:

1 — разрыхлители; *2* — каток; *3* — упор; *4* — фундамент; *5* — рельсы; *6* — колеса с ребордами; *7* — формовочная смесь; *8* — движущаяся установка; *9* — электродвигатель; *10* — редуктор

Далее модель извлекают, предварительно смочив формовочную смесь по ее (модели) периметру для предотвращения подрыва краев формы при извлечении модели. Для получения чистой отливки полость формы припыливают графитовым порошком или окрашивают графитовой краской.

Описанный метод применяется для получения таких деталей, как каркасы для стержней, печные и строительные плиты и т. п. На московском заводе «Борец» процесс приготовления мягкой постели, в которой формуют каркасы для стержней, механизирован. На рис. 6.5 представлена установка для приготовления мягкой постели. На бетонном фундаменте *4* установлены рельсы *5*, по которым передвигается установка *8*. Вращающий момент от электродвигателя *9* через редуктор *10* и цепную передачу передается на колеса *6* с ребордами, связанные с разрыхлителями *1* и катком *2*. Упоры *3* предотвращают съезд установки с рельсов в крайних положениях. Формовочная смесь *7* располагается в промежутке между рельсами. После удаления (выбивки) отливок из мягкой постели ее поверхность тщательно обрызгивают водой из шланга. Затем включают привод установки *8*, которая, перемещаясь (вправо

по чертежу), рыхлит смесь лопатками. Дойдя до крайнего правого положения, установка возвращается обратно, одновременно приглаживая поверхность мягкой постели катком *2*.

Операцию проводят несколько раз до тех пор, пока не будет достигнуто удовлетворительное качество поверхности мягкой постели. После этого приступают к формовке модели каркасов для стержней, осаживая их киянкой. Полученные формы заливают металлом. Готовые отливки удаляют (извлекают) из постели, и процесс повторяется.

6.2.2. Формовка в твердой постели

Технология формовки в мягкой постели исключает получение крупных и высоких отливок из-за возможного возникновения газовых раковин, подутия и других дефектов. Для изготовления таких отливок применяют формовку в твердой постели.

На рис. 6.6. показана твердая постель, подготовленная к формовке. В полу литейного цеха выкапывают яму *1*, глубина которой превышает высоту модели на 300...500 мм. Дно и стены ямы тщательно утрамбовывают, на дно засыпают слой кокса *5* и утрамбовывают его. Этот слой является твердой постелью. По стенкам ямы укладывают трубы *4* так, чтобы нижний их конец соприкасался со слоем кокса, а верхний — находился выше уровня пола. На слой кокса настилают рогожи либо мешковину *6*, далее засыпают формовочную смесь *3*. Слой формовочной смеси тщательно утрамбовывают сначала набойками, а затем формовочными трамбовками и при помощи вентиляционных игл накалывают вентиляционные каналы *2*. Рекомендуется накалывание выполнять под некоторым углом к вертикали. Вентиляционные каналы, слой кокса и трубы служат для отвода газов, которые образуются при нагреве формы расплавленным металлом. Газы, выходящие из трубы после заливки металла в форму, поджигают. Лучшая газопроницаемость и высокая прочность коксового слоя достигаются, если размеры кусков кокса находятся в пределах 50...70 мм.

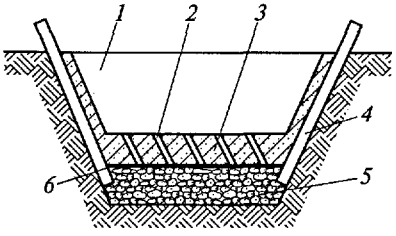


Рис. 6.6. Твердая постель, подготовленная к формовке:
1 — яма; *2* — вентиляционный канал; *3* — формовочная смесь; *4* — труба; *5* — слой кокса; *6* — мешковина

В подготовленной твердой постели осуществляют формовку: устанавливают модель, слегка осаживают ее и заполняют свободные места формовочной смесью, которую уплотняют. Как правило, формовка в твердой постели выполняется с верхней опокой. На рис. 6.7 показана формовка кони-

ческой детали. Поверхность лада твердой постели посыпают разделительным песком, устанавливают опоку *5* и центруют ее при помощи клиньев *4*, забивая их в соответствии с видом *Б*, показанным на рис. 6.7. Точность такого центрирования оказывается достаточной и не приводит к большим перекосам и сдвигу формы при сборке. Затем устанавливают модели литниковой системы и заформовывают верхнюю опоку. При малой высоте опоки и больших размерах в свету, значительно превышающих ее высоту, возможно вываливание смеси из опоки при проведении сборочных операций под действием собственного веса или ее выдавливание при выполнении операции заливки смеси под действием давления заливаемого металла. Поэтому в таких случаях применяют опоки с крестовинами *2*, которые удерживают смесь. Кроме того, на крестовины навешивают проволочные крючки *1*, которые также служат для удержания смеси. Для лучшего сцепления со смесью крючки смачивают жидким раствором глины или сульфитной бардой.

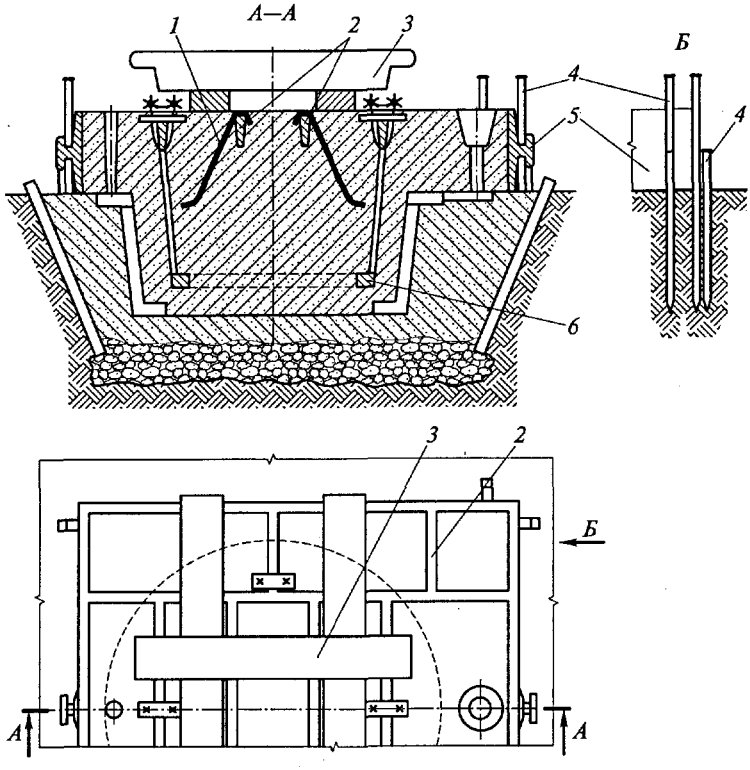


Рис. 6.7. Формовка конической детали:

1 — проволочный крючок; *2* — крестовины опоки; *3* — груз; *4* — клинья; *5* — опока; *6* — каркас

Для удержания больших выступающих частей («болванов») и придания им прочности применяют каркасы *6*, которые соединяют с крестовинами болтами. Заформованную верхнюю опоку снимают и извлекают модели, отделывают и окрашивают полость формы. После установки верхней полуформы на нее накладывают грузы *3*, которые предотвращают ее подъем при заливке металла в форму. Грузы следует накладывать так, чтобы они опирались на опоку, в противном случае может произойти выдавливание формы.

К достоинствам формовки в твердой постели следует отнести возможность получения отливок больших размеров и удовлетворительного качества, простота оборудования, доступность материалов. Поэтому описанный метод и в настоящее время применяется в литейных цехах, особенно в ремонтно-литейных цехах и на ремонтных участках.

6.3. ФОРМОВКА В ОПОКАХ ПО РАЗЪЕМНОЙ МОДЕЛИ

Этот способ формовки распространен широко. Модель должна иметь плоскость разъема. Для центрирования ее половинок в верхней из них выполняют центрирующие штифты, в нижней — отверстия. По конфигурации модель отличается от отливки наличием знаковых частей, выполняющих в форме полости, которые служат для установки стержней.

Линейные размеры отливки (рис. 6.8, *а*) и модели разные. Размеры разъемной модели (рис. 6.8, *б*) больше размеров отливки на величину усадки (например, 1%). При изготовлении деревянных моделей пользуются специальными усадочными метрами, в которых учтено увеличение размеров модели. В массовом производстве размеры модели определяются путем пересчета размеров отливки.

Формовка выполняется следующим образом. Формовщик устанавливает опоку низа и нижнюю половину модели на модельную плиту (рис. 6.8, *в*). Важно правильно расположить модель в опоке, оставляя место для литниковой системы. Модель покрывают (припудривают или обрызгивают) разделительным составом для предотвращения прилипания формовочной смеси и наполняют опоку облицовочной смесью, которую просеивают через сито (см. рис. 6.8, *в*). В глубоких местах и углах, образованных моделью и модельной плитой, облицовочную смесь обжимают (уплотняют) руками, затем полностью засыпают наполнительной смесью, которую утрамбовывают.

Излишки смеси срезают линейкой, вентиляционной иглой накалывают вентиляционные каналы, сверху устанавливают подопочную плиту, вместе с которой переворачивают уплотненную полуформу. После этого последовательно устанавливают верхнюю

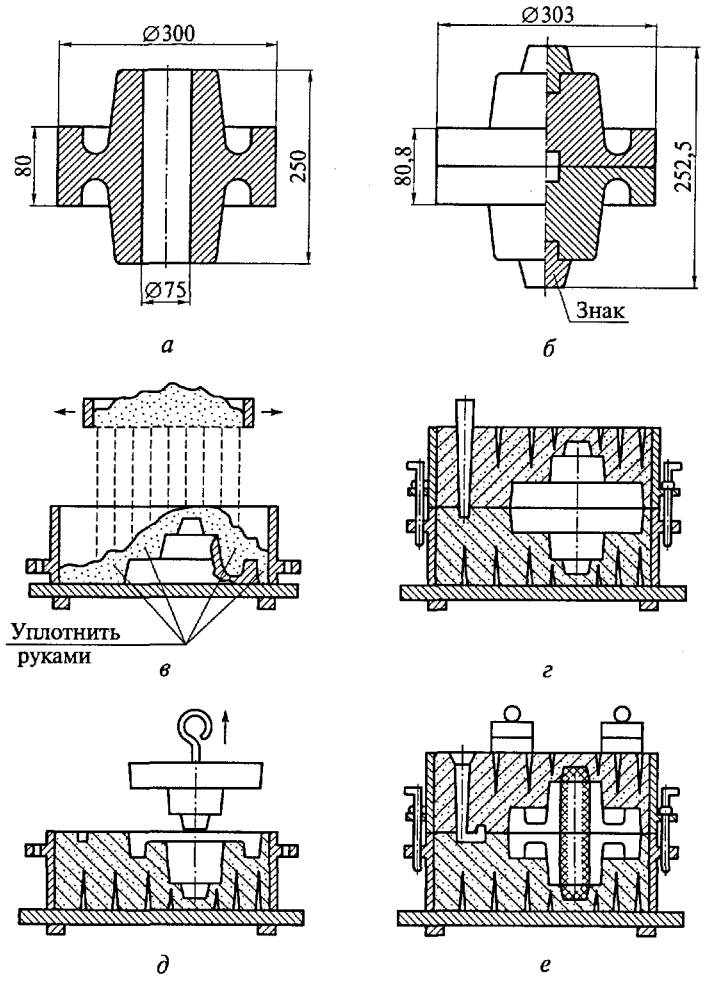


Рис. 6.8. Формовка по разъемной модели:
а — эскиз отливки; *б* — разъемная модель; *в*—*е* — операции формовки

половину модели, совмещая ее с нижней половиной, опоку верха и модели элементов литниковой системы (рис. 6.8, *г*).

Плоскость разъема посыпают мелким разделительным песком. Как и при формовке нижней полуформы, производят операции засыпки облицовочной и наполнительной смесей, их уплотнение и срезание излишков. Затем вырезают литниковую воронку или чашу, извлекают модель стояка, снимают верхнюю полуформу, вынимают половинки модели и модели элементов литниковой системы (рис. 6.8, *д*). Далее выполняют отделку формы. В нижнюю полуформу устанавливают стержни. Затем накрывают нижнюю по-

луформу верхней (рис. 6.8, *е*). Для центрирования полуформ применяют штыри и втулки.

6.4. ФОРМОВКА В ДВУХ ОПОКАХ С ПОДРЕЗКОЙ

На рис. 6.9, *а* представлена отливка, при формовке по неразъемной модели которой извлечению модели будет препятствовать поверхность, помеченная на чертеже крестиками. В таких случаях для формовки применяют специальный прием — подрезку. Нижнюю по-

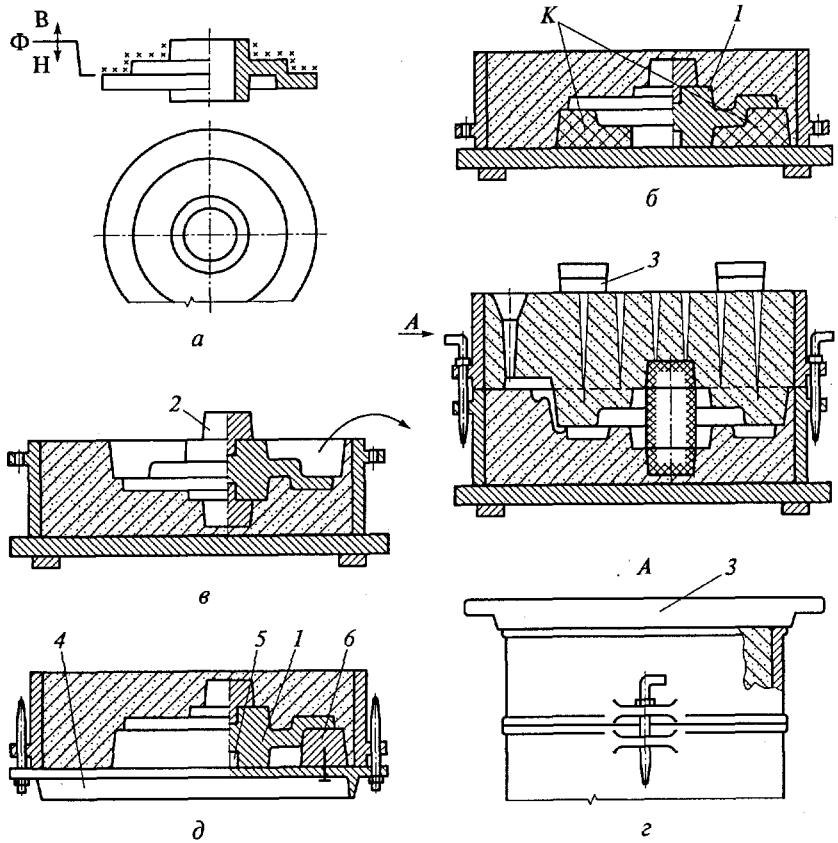


Рис. 6.9. Формовка с подрезкой:

а — отливка; *б* — уплотненная нижняя полуформа; *в* — нижняя полуформа после удаления излишков смеси; *г* — форма в сборе; *д* — формовка по фасонной модельной плите; *1* — модель; *2* — модель верхнего знака; *3* — груз; *4* — модельная плита; *5* — гнездо для знака; *6* — модель подрезки; Ф — разъем формы; В, Н — соответственно верх и низ формы; *К* — объем смеси, препятствующей извлечению модели; изогнутыми стрелками показано направление удаления излишков смеси

луформу уплотняют обычным способом и переворачивают. Извлечению модели *1* из полуформы препятствует объем смеси, помеченный на рис. 6.9, *б* буквой *К*, поэтому его срезают и образовавшуюся поверхность разъема тщательно заглаживают (рис. 6.9, *в*). На месте данного объема при формовке верхней полуформы образуется болван. Разъем формы будет уже не плоский, а фасонный. Далее устанавливают модель верхнего знака *2*, поверхность подрезки тщательно посыпают разделительной смесью, в случаях глубокой подрезки обклеивают бумагой. Далее формовка не отличается от рассмотренной ранее формовки в опоках. На рис. 6.9, *г* показана форма в сборе.

Формовка с подрезкой достаточно трудоемка, поэтому при изготовлении больших серий отливок применяют фасонные модельные плиты *4*, оформляющие полость подрезки (рис. 6.9, *д*). Полость подрезки оформляет модель *5*, выполненная в виде кольца. Взаимное центрирование моделей подрезки *5* и модели *1* осуществляется штырем, который является гнездом *6* для знака.

Для придания болванам достаточной прочности и для предотвращения их разрушения устанавливают при уплотнении формы проволочные крючки (см. подразд. 6.2.2) или так называемые «деревянные солдатики» — деревянные колышки, которые прислоняют наклонно к крестовинам и затрамбовывают формовочной смесью. Применяются солдатики при формовке по-сырому. Для повышения прочности формы применяют также прошпиливание. Шаг прошпиливания 40...100 мм, шпильки располагают в шахматном порядке.

6.5. ФОРМОВКА ПО МОДЕЛИ С ОТЪЕМНЫМИ ЧАСТЯМИ

При изготовлении форм для отливок, имеющих на своей поверхности выступающие части трех видов (*I*—*III* на рис. 6.10, *а*), можно использовать рассмотренный ранее метод подрезки или формовку в стержнях, описанную ниже (см. подразд. 6.11). Однако формовка в стержнях является дорогостоящей, а применение подрезки не всегда возможно. Так, для получения элемента вида *II* подрезка невозможна, а для элементов видов *I* и *III* она получается глубокой и вызывает затруднения при формовке. Для изготовления таких отливок применяют формовку по модели с отъемными частями (рис. 6.10, *б*—*г*). Отъемные части вида *I* применяют при наличии в модели достаточной полости, через которую можно удалить штифт. Формовка ведется обычным образом. После того как модель заформована, удаляют штифт (см. рис. 6.10, *б*), затем извлекают модель и вслед за этим вынимают отъемную часть из формы.

При формовке модели с отъемными частями вида *II* уплотняют смесь до верхней плоскости отъемной части. Затем извлекают

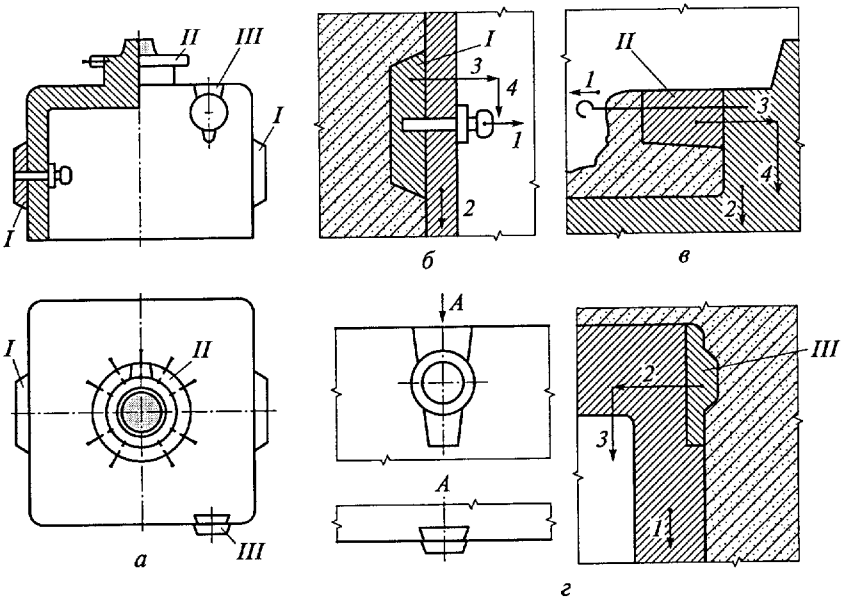


Рис. 6.10. Формовка по модели с отъемными частями:

а — модель; *б*, *в*, *г* — последовательность выполнения операций *1—4* формовки; *I—III* — виды отъемных частей; стрелками показано направление перемещения отъемных частей модели

шпильку (см. рис. 6.10, *в*) и заканчивают уплотнение. Причем плотность смеси под отъемной частью должна быть достаточно высокой, так как в противном случае может произойти сдвиг отъемной части от первоначального положения. Последовательность и направление извлечения отъемной части соответствует цифрам *1—4* и стрелкам.

Вид крепления *III* отъемных частей носит название «ласточкин хвост» (см. рис. 6.10, *г*). Этот способ широко используют в литейных цехах, так как он удобен и практичен, обеспечивает большую точность и производительность по сравнению с предыдущими. Однако в случае заклинивания «ласточкина хвоста» при удалении отъемных частей *1—3* модели может произойти смятие формы, поэтому необходимо внимательно следить за состоянием соединения.

6.6. ФОРМОВКА С ПЕРЕКИДНЫМ БОЛВАНОМ

Перекидным называется болван, который в процессе формовки опирается сначала на верхнюю, а потом на нижнюю полуформы.

На рис. 6.11 изображена последовательность операций при формовке этим методом отливки шкива.

Модель состоит из двух частей с плоской линией разъема. Верхнюю часть модели *3* располагают в верхней опоке *1*, устанавливают модель стояка *2* и уплотняют смесь, как это описывалось ранее. Полуформу переворачивают, удалив модель стояка, и производят подрезку. Устанавливают нижнюю половину модели *4*, посыпают разделительной смесью и, утрамбовывая смесь, изготовляют перекидной болван *5*. Поверхность его тщательно заглаживают и посыпают разделительной смесью. Устанавливают опоку низа *6* и уплотняют в ней смесь. Затем приступают к извлечению модели, для этого снимают полуформу низа и удаляют из нее нижнюю половину модели *4*, затем полуформу низа снова устанавливают на полуформу верха, собранную форму переворачивают, снимают верхнюю полуформу и удаляют из нее модель верха *3*. Форму продувают, устанавливают стержень *7* и собирают.

Применение данного метода позволяет отказаться от стержня, оформляющего ручей шкива, и снизить стоимость отливки. Однако метод применяется только в единичном производстве.

При применении металлической модельной оснастки формов-

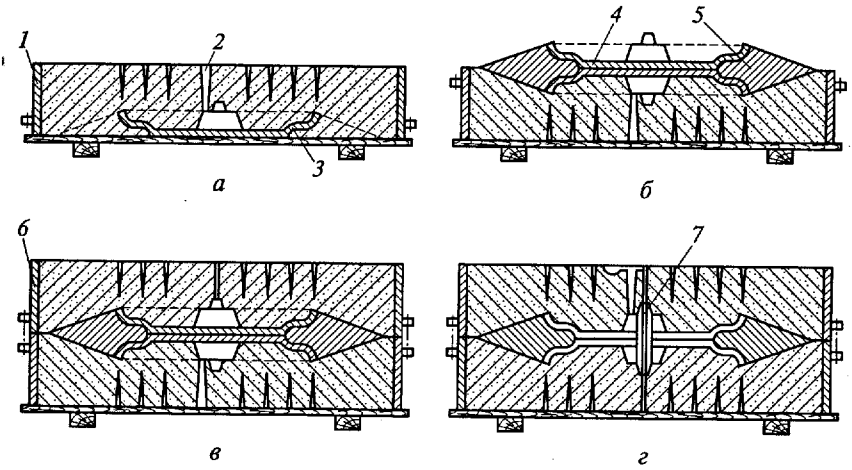


Рис. 6.11. Формовка с перекидным болваном:

— г — последовательность операций при формовке отливки шкива; *1* — опока; — модель стояка; *3* — верхняя половина модели; *4* — нижняя половина модели; *5* — перекидной болван; *6* — опока низа; *7* — стержень

у осуществляют с использованием стержня, изготовляемого в стержневом ящике, имеющем разъем по центру перекидного болана.

6.7. ФОРМОВКА С ПОДЪЕМНЫМ БОЛВАНОМ

Метод формовки с перекидным болваном используется для небольших опок, переворачивание которых можно производить вручную одному рабочему. При изготовлении крупных форм для отливок подобного типа, переворачивание и транспортировку которых производят при помощи крана, применяют метод подъемного болвана.

При формовке с подъемным болваном (рис. 6.12) необходимо наличие стальной обечайки *1*, внутренний диаметр которой на 5...10 мм больше диаметра модели *2*. Сначала изготовляют нижнюю полуформу, уплотняя смесь над моделью и вокруг обечайки (см. рис. 6.12, *а*), затем полуформу переворачивают и устанавливают модель второго (верхнего) знака стержня. После этого уплотняют смесь в промежутке между моделью и обечайкой, т.е. изготовляют болван *3*. Вслед за этим набивают верхнюю полуформу *4*. Сняв верхнюю полуформу, извлекают подъемный болван *3*, из которого обычным способом вынимают две половины модели *2*. Полость формы отделывают и выполняют ее сборку.

В рассмотренном случае для повышения жесткости формы и болванов применены опоки с крестовинами *6* и крючки *5*.

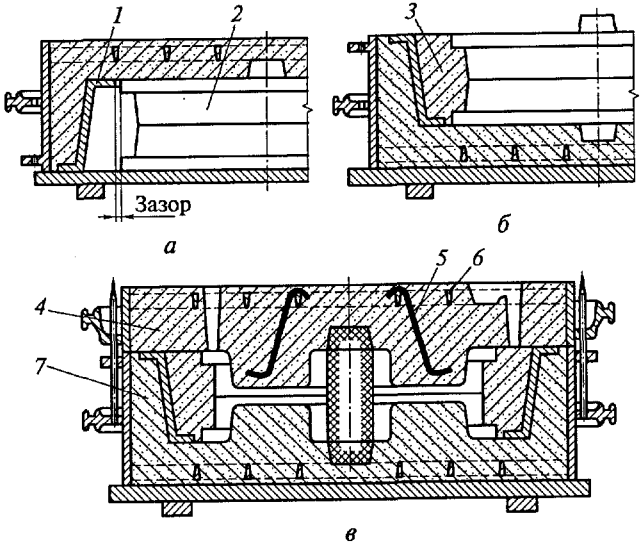


Рис. 6.12. Формовка с подъемным болваном:

а — формовка нижней опоки; *б* — уплотнение смеси между моделью и обечайкой; *в* — форма в сборе; *1* — стальная обечайка; *2* — модель; *3* — подъемный болван; *4* — верхняя полуформа; *5* — крючок; *6* — крестовина; *7* — нижняя полуформа

6.8. ФОРМОВКА С ФАЛЬШИВОЙ ОПОКОЙ

В практике формовки встречаются случаи, когда поверхность разъема формы криволинейна и расположить модель на плоской плите невозможно. Для изготовления формы по такой модели можно использовать подрезку по фигурному разъему. С целью повышения производительности при формовке серии отливок прибегают к методу формовки с фальшивой опокой, которая получила свое название из-за того, что металл в нее не заливают; она служит только для формовки в качестве фигурной модельной плиты. Формовку начинают с изготовления фальшивой опоки *1* (рис. 6.13, *а*). Смесь в ней утрамбовывают с особой тщательностью. Затем по ладу фальшивой опоки гладилкой вырезают ложе под модель, в которое при помощи деревянного молотка осаживают модель *2*, оформляют и выглаживают поверхность разъема. Модель раскачивают, извлекают из фальшивой опоки и закладывают обратно. Это обеспечивает при следующих операциях формовки легкое отделение модели от фальшивой опоки. Далее формовку ведут обычным образом, устанавливая каждый раз модель в фальшивую опоку (рис. 6.13, *б*, *в*), подобно тому как модель с плоским разъемом устанавливают на модельную плиту.

Если фальшивая опока должна служить долго, то ее изготовляют из гипса, цемента или жидкостекольной смеси, поверхность разъема окрашивают, что облегчает условия формовки и удлиня-

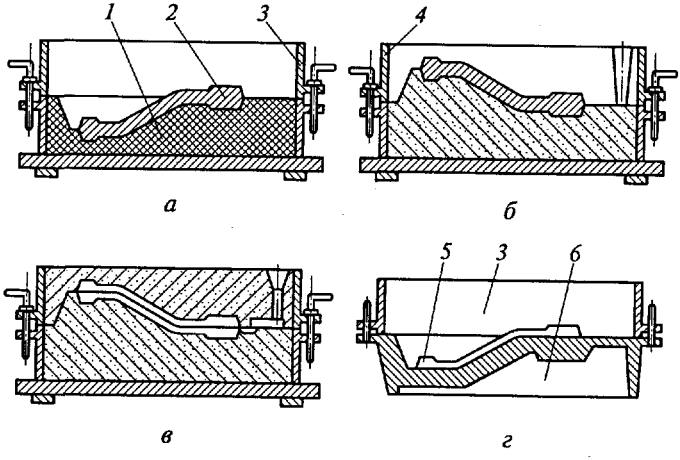


Рис. 6.13. Формовка с фальшивой опокой:

— изготовление фальшивой опоки; *б* — установка верхней опоки; *в* — изготовление верхней полуформы; *г* — фигурная модельная плита с установленной на ней нижней опокой; *1* — фальшивая опока; *2* — модель; *3* — нижняя опока; *4* — верхняя опока; *5* — половина модели; *6* — фигурная модельная плита

ет срок ее службы. В случае изготовления большой партии отливок, чаще всего при машинной формовке, фальшивую опоку заменяют фигурными модельными плитами *б* (рис. 6.13, *г*). Такие плиты изготовляют из дерева или металла, срок их службы значительный, а применение улучшает условия труда формовщика.

6.9. ФОРМОВКА В ТРЕХ ОПОКАХ

Формовка в трех опоках применяется для высоких отливок, имеющих две плоскости разъема.

На рис. 6.14 показана формовка отливки катка с двумя ребордами в трех опоках по разъемной модели и с отъемным верхним знаком. Для формовки используют среднюю опоку *1*, высота которой соответствует высоте катка. Часто, с этой целью высоту катка и средней опоки выравнивают подрезкой, выполняемой в средней полуформе. Формовку начинают с изготовления средней части формы (рис. 6.14, *б*). После заглаживания и присыпки песком плоскости разъема сверху устанавливают нижнюю опоку *2*, уплотняют смесь (рис. 6.14, *в*), переворачивают две опоки, устанавливают верхнюю опоку *5*, модель верхнего знака стержня и модели стояка *4* и выпора *3* и производят набивку верхней опоки *5* (рис. 6.14, *г*). Следующей операцией является удаление модели. Для этого сначала удаляют модели стояка *4* и выпора *3*, снимают верхнюю полуформу и извлекают из средней полуформы верхнюю половину модели. После этого снимают среднюю полуформу, пере-

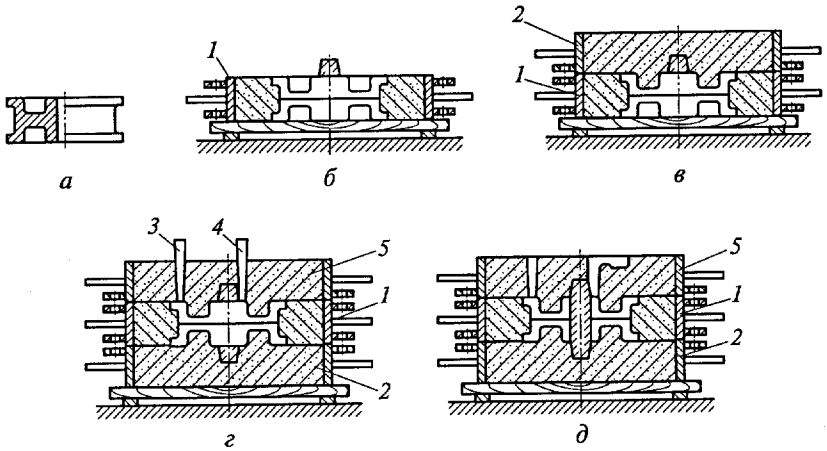


Рис. 6.14. Формовка в трех опоках по разъемной модели:

а — отливка; *б—д* — последовательность выполнения операций формовки; *1* — средняя полуформа (опока); *2* — нижняя полуформа (опока); *3* — модель выпора; *4* — модель стояка; *5* — верхняя полуформа (опока)

ворачивают ее и удаляют вторую половину модели. После окончательной отделки всех трех частей формы устанавливают стержень в нижнюю полуформу, припыливают все полуформы графитом и собирают под заливку (рис. 6.14, *д*).

6.10. ФОРМОВКА ПО ШАБЛОНУ

Формовку по шаблону применяют в случае изготовления отливок больших размеров и постоянного сечения, которые могут быть получены либо вращением (например, тела вращения), либо движением шаблона по направляющим. При применении этого метода отпадает необходимость изготовления дорогих моделей, что приводит к снижению стоимости отливок. Формовка по шаблону наиболее выгодна при индивидуальном производстве, когда надо изготовлять одну или несколько отливок. Для изготовления большого количества отливок выгоднее формовка по модели, изготовление которой в таком случае вполне рентабельно.

6.10.1. Формовка вращающимся шаблоном

Формовку вращающимся шаблоном ведут с применением приспособления, изображенного на рис. 6.15. В подпятник *7* устанавливается ось *8*, которая имеет конический хвостовик. Такое соединение обеспечивает точное центрирование оси относительно подпятника и возможность извлечения оси из подпятника после завершения формовки. Подпятник имеет большое основание с отверстиями, служащими для его крепления в полу литейного цеха при помощи клиньев. На оси *8* насажена поперечина *2*, которую можно перемещать в вертикальном направлении, фиксируя при помощи кольца *1* со стопорным винтом на заданной высоте. Шаблон *4* крепится к поперечине при помощи крепежных элементов *3*, а наличие пазов в поперечине допускает перемещение шаблона вдоль поперечины. Для увеличения срока службы шаблона *4*

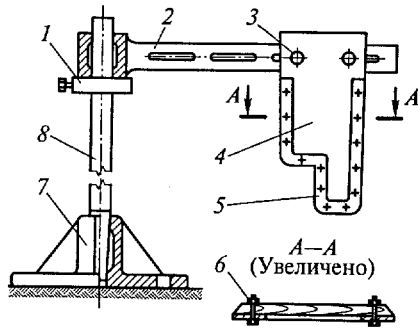


Рис. 6.15. Приспособление для формовки вращающимся шаблоном:
1 — кольцо; *2* — поперечина; *3* — крепежный элемент; *4* — шаблон; *5* — металлическая пластина; *6* — болт; *7* — подпятник; *8* — ось

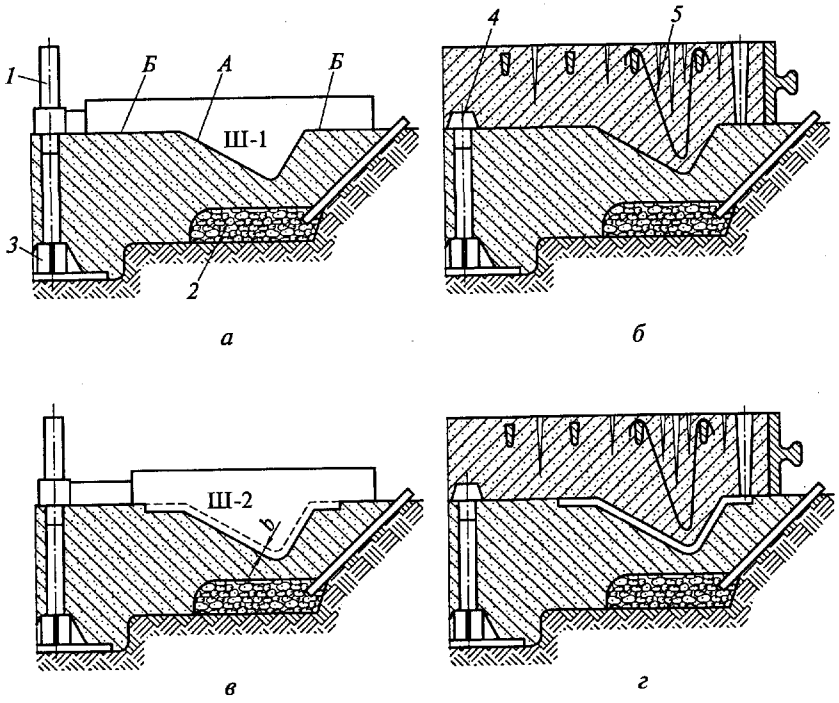


Рис. 6.16. Формовка вращающимися шаблонами:

а — формовка шаблоном Ш-1; *б* — формовка верхней опоки; *в* — формовка шаблоном Ш-2; *г* — форма в сборе; *1* — ось; *2* — слой кокса; *3* — подпятник; *4* — пробка; *5* — крючок; *А*, *Б* — части шаблона Ш-1 соответственно для поверхности полости формы и поверхности разъема; *b* — толщина стенки отливки

и получения более высокого качества формы ее рабочая поверхность выполняется из металлической пластины *5*, прикрепленной к шаблону *4* болтами *6*. Используя описанную оснастку, можно отформовать, например, коническую отливку в твердой постели (рис. 6.16). В этом случае выкапывают яму сложного профиля. На дно ямы устанавливают подпятник *3*, в который помещают ось *1*. Правильность установки оси проверяют при помощи уровня, который укладывают на поперечину, и, вращая ее, корректируют установку оси. Отливка представляет собой кольцо, поэтому слой кокса *2* выкладывают по форме отливки. После уплотнения смеси формируют полость шаблоном Ш-1. При этом части *А* шаблона создают поверхность полости формы, а части *Б* — поверхность разъема. Перед формовкой опоки верха ось вынимают из подпятника, образовавшееся отверстие закрывают пробкой *4*. Углубление формы обкладывают бумагой или посыпают разделительным песком и заформовывают опоку верха. Крючки *5* придают болвану

большую жесткость. Заформованную опоку снимают, извлекают пробку *4* и устанавливают ось. Затем шаблоном Ш-2 выполняют дальнейшее вырезание полости в твердой постели на толщину стенки отливки *b*. Полость формы отделывают обычным образом и форму собирают под заливку. Вращающимися шаблонами можно формовать также в опоках и кессоне.

6.10.2. Формовка протяжными шаблонами

Метод формовки протяжными шаблонами применяют для изготовления отливок, имеющих постоянное сечение по длине. Полость формы для таких отливок создается при движении шаблонов разной конфигурации по прямой и криволинейной направляющим. Таким способом получают такие детали, как патрубки, изогнутые колена труб, переходники и т.п. При помощи разных шаблонов можно получить не только полость формы, но и стержни, что экономически целесообразно в единичном производстве.

Формовка протяжными шаблонами не требует сложной оснастки. На рис. 6.17 показана часть рамки, используемой для формовки патрубка с фланцем. Шаблон *1* передвигается по направляющим *4*, которые повторяют очертание патрубка по линии разъема. Направляющие скрепляются поперечинами *3*, модель *2* разъемная и служит для формовки фланца патрубка. Формовку можно вести в опоках или твердой постели. Последовательность операций при формовке патрубка следующая. Сначала в уплотненную нижнюю полуформу осаживают направляющие (рис. 16.18, *а*), ударив предварительно смесь под моделями фланцев. Затем гладилкой, а потом шаблоном Ш-1 формируют полость для изготовления стержня. Полость обкладывают бумагой и приступают к изготовлению стержня: уплотняют начала его нижнюю половину, станавливают каркас и уплотняют верхнюю половину. Поверхность верхней половины стержня формуют шаблоном Ш-2 и используют ее в качестве модели для изготовления верхней полуформы. Для этого обкладывают умагой стержень и набивают ерхнюю полуформу, которую нимают сразу после уплотнения. оверхность стержня, служивую для получения полуформы рха, срезают шаблоном Ш-3, меющим очертания стержня. осле этого стержень удаляют из

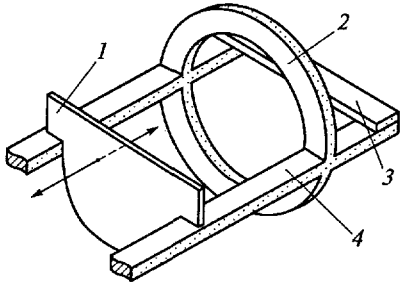


Рис. 6.17. Оснастка для формовки протяжными шаблонами:

1 — шаблон; *2* — модель фланца (разъемная); *3* — поперечина; *4* — направляющая; стрелками показано направление движения шаблона

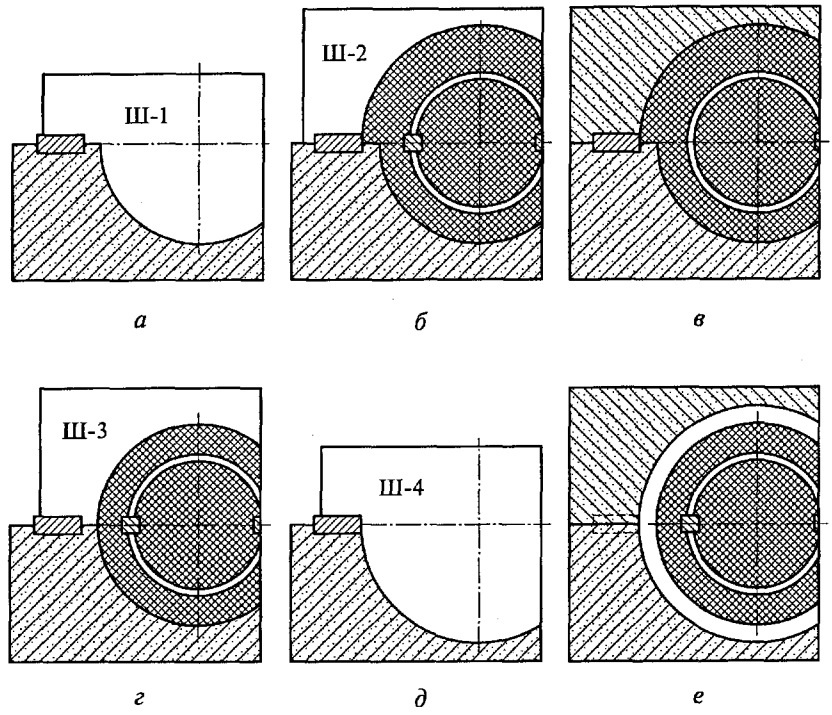


Рис. 6.18. Формовка патрубка с фланцем протяжными шаблонами:

а — формовка шаблоном Ш-1 при изготовлении стержня; *б* — формовка стержня шаблоном Ш-2; *в* — формовка верхней опоки; *г* — формовка стержня шаблоном Ш-3; *д* — изготовление нижней полуформы шаблоном Ш-4; *е* — форма в сборе

формы. Затем шаблоном Ш-4 формуют в нижней полуформе поверхность, которая будет формировать наружную часть отливки. После этого направляющие извлекают из формы, на их место подсыпают и утрамбовывают формовочную смесь. Поверхность формы отделывают, и форму собирают.

6.11. ФОРМОВКА В СТЕРЖНЯХ

При использовании метода формовки в стержнях полость формы целиком оформляется стержнями. Получение формы из стержней дает возможность деления ее на простые элементы, изготовление которых в отдельности не представляет особых сложностей. Методом предусмотрены параллельное изготовление стержней и сборка форм. Трудоемкость выбивки по этому методу уменьшается. Лучшая газопроницаемость и бóльшая прочность смеси по

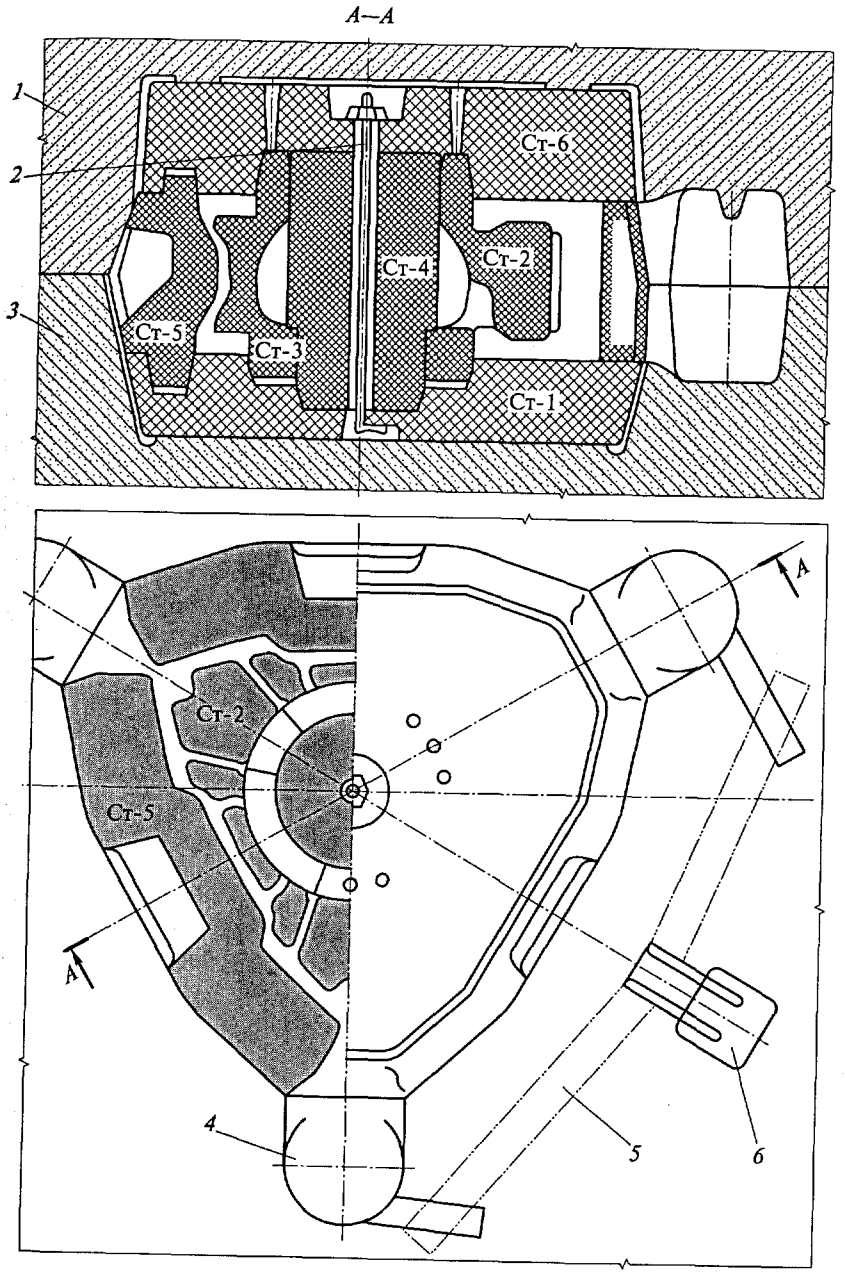


Рис. 6.19. Формовка в стержнях:

1 — верхняя полуформа; *2* — шпилька; *3* — нижняя полуформа; *4* — прибыль; *5* — литниковый ход; *6* — дроссель; Ст-1 — Ст-6 — стержни

сравнению с формовочной позволяет получить и более качественные отливки при меньшем браке.

Однако сравнительно высокая стоимость стержней приводит к увеличению стоимости отливки. Поэтому этот способ в основном применяется для производства ответственных отливок сложной конфигурации, изготовление которых по моделям требует большого числа отъемных частей. На рис. 6.19 представлена форма для получения отливки ротора по технологии, разработанной на ОАО «Волжский автомобильный завод». Стержни предварительно собирают в кондукторе и скрепляют специальной шпилькой *2*. Порядок сборки стержней соответствует их номерам Ст-1 — Ст-6, т.е. первым в кондукторе устанавливают стержень Ст-1, последним — стержень Ст-6. Собранный пакет стержней устанавливают в нижнюю полуформу *3* и накрывают верхней полуформой *1*. Форма в данном случае служит только для размещения в ней литниковой системы: литникового хода *5*, дросселя *6* и прибылей *4*. Если литниковая система располагается в самих стержнях, то собранный пакет стержней подается на заливку в металлическом жакете, скрепленный либо струбцинами, либо планками со стяжками.

В стержнях изготовляют отливки блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания, когда стержни предварительно собирают в кондукторе и устанавливают в нижнюю полуформу.

6.12. ФОРМОВКА ПО СКЕЛЕТНЫМ МОДЕЛЯМ

Формовка по скелетным моделям схожа с формовкой протяжными шаблонами. Отличие заключается в том, что для снижения трудоемкости изготовления формы и повышения ее качества изготовляется скелетная модель, толщина бруса которой равна толщине стенки будущей отливки (рис. 6.20).

В предварительно подготовленную постель устанавливают нижнюю часть каркасной модели, засыпают смесь и выполняют уплотнение до уровня чуть выше уровня толщины бруса, затем шаблоном Ш-1 снимают излишек смеси, тем самым подготавливая полость для изготовления стержня. Затем прокладывают пергаментную бумагу, засыпают смесь в центре стержня и уплотняют ее. Устанавливают верхнюю часть скелетной модели, засыпают смесью и уплотняют до уровня выше толщины бруса, затем шаблоном Ш-2 удаляют излишек смеси, подготавливают модель для изготовления внешних контуров отливки, модель посыпают сухой отработанной смесью или графитом. Устанавливают опоку, которую фиксируют двойными деревянными колышками, элементы литниковой системы, после чего засыпают смесь и изготовляют верхнюю полуформу. Затем верхняя полуформа протягивается и отводится в сторону. Шаблоном Ш-1 выбирают смесь в окнах верх-

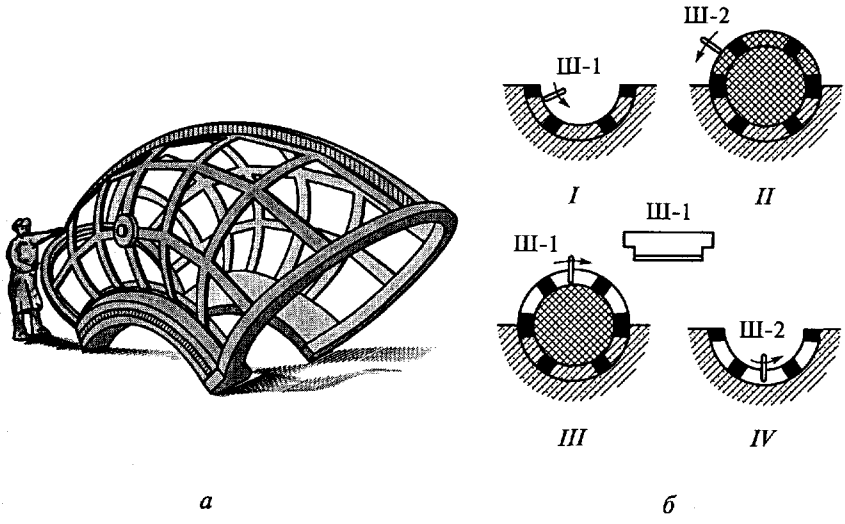


Рис. 6.20. Формовка по скелетным моделям:

а — скелетная модель; *б* — последовательность операций формовки: *I* — формовка шаблоном Ш-1 полости для изготовления стержня; *II* — формовка шаблоном Ш-2 полости для изготовления внешних контуров отливки; *III* — формовка шаблоном Ш-1 верхней части стержня; *IV* — формовка шаблоном Ш-2 внешних очертаний отливки в нижней полуформе

ней скелетной модели и заканчивают изготовление литейного стержня. Снимают верхнюю скелетную модель, а стержень за вески каркаса вынимают из нижней полуформы и отправляют на сушку. Шаблоном Ш-2 выбирают смесь в окнах нижней скелетной модели, тем самым формуют внешние очертания нижней полуформы.

Выполняя сборку формы, устанавливают сначала высушенный стержень, а затем верхнюю опоку по забитым ранее двойным деревянным колышкам.

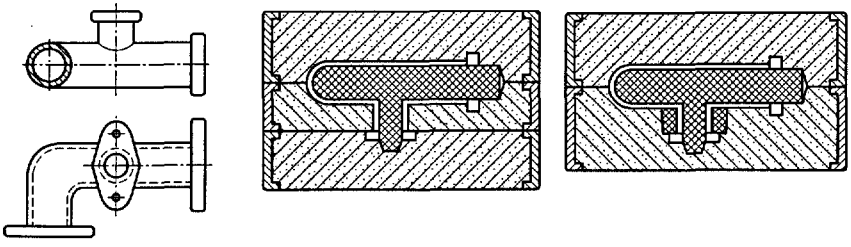
ГЛАВА 7

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИННОЙ ФОРМОВКИ

Машинная формовка по сравнению с ручной имеет большие преимущества: механизированы операции уплотнения форм при их изготовлении и протяжки моделей; используются металлические модельные комплекты; формовочные смеси более стабильны по составу. Все это способствует получению отливок с более высокими значениями геометрической и размерной точности и показателями качества поверхности. Затраты на оборудование и технологическую оснастку в условиях машинной формовки возрастают и окупаются только при производстве отливок больших партий, т. е. при серийном и массовом производстве. Отметим следующие особенности машинной формовки по сравнению с ручным способом формовки.

1. При ручной формовке все основные технологические операции (засыпка смеси, уплотнение, установка стержней, выполнение элементов литниковой системы, сборка формы) по изготовлению формы выполняет один высококвалифицированный рабочий. При машинной формовке эти технологические операции изготовления формы разделены, поэтому появляется возможность для изготовления формы использовать менее квалифицированных рабочих.

2. Если при ручной формовке сложные отливки (рис. 7.1, *а*) изготовляют в трех опоках по разъемным моделям (рис. 7.1, *б*), то эти же отливки при машинной формовке получают в парных опоках (рис. 7.1, *в*) с использованием стержней, поскольку затраты окупаются серийностью производства.



а *б* *в*

Рис. 7.1. Эскиз сложной отливки и опоки ручной и машинной формовки:
а — отливка; *б* — ручная формовка в трех опоках; *в* — машинная формовка в парных опоках с использованием стержня

3. В ручной формовке используют деревянную оснастку, в то время как применение металлической технологической оснастки в машинной формовке, которая осуществляется по технологии с односторонними металлическими модельными плитами (для опочной формовки) и двусторонними металлическими модельными плитами (для безопочной формовки), и использование механизированной протяжки обеспечивают существенное повышение геометрической и размерной точности отливок.

4. При машинной формовке модели элементов литниковой системы изготовляют в модельном цехе и монтируют на модельной плите, таким образом достигается стабильность качества отливок.

Различают две технологии машинной формовки — по опочному и безопочному вариантам.

7.1. ОПОЧНАЯ ФОРМОВКА

Литейные формы при опочной формовке часто изготовляют на встряхивающих машинах с подпрессовкой. Последовательность операций при изготовлении полуформы верха на встряхивающих с подпрессовкой формовочных машинах представлена на рис. 7.2 [22].

Модельную плиту *1*, закрепленную на столе машины *2* опрыскивают разделительным составом (например, смесью керосина с мазутом) (рис. 7.2, *а*). Устанавливают по штырям модельной плиты опоку *3*, стояк *4* (рис. 7.2, *б*). Засыпают облицовочную формовочную смесь *5* (рис. 7.2, *в*), надевают на крестовины крючки *6* (рис. 7.2, *г*) для удержания выступающих частей формы, устанавливают наполнительную рамку *7* и засыпают наполнительную смесь *8* (рис. 7.2, *д*). Затем включают встряхивающий механизм для уплотнения смеси при ее встряхивании. Сняв наполнительную рамку, выполняют допрессовку верхних слоев смеси в опоке, а в некоторых случаях их уплотняют пневматической трамбовкой (рис. 7.2, *е*). Далее вручную линейкой срезают излишки смеси с поверхности опоки (рис. 7.2, *ж*), накалывают душником вентиляционные каналы *9* (рис. 7.2, *з*) и извлекают модель стояка. Протяжку моделей из формы выполняют с использованием механизмов штифтового (рис. 7.3) или рамочного съема полуформы.

Аналогичным образом, но без операции установки и извлечения стояка литниковой системы, изготовляют нижнюю полуформу на машинах с поворотной плитой и приемным столом, снабженным нивелирующим механизмом. Если съем полуформы штифтовой, то после съема с плиты опоку, подвешенную на цапфах с помощью цепей, закрепленных на подъемнике, поворачивают вручную. На рис. 7.4 представлены две схемы организации рабочего места опочной формовки, например, на встряхивающих с подпрессовкой машинах, — комплектная и групповая.

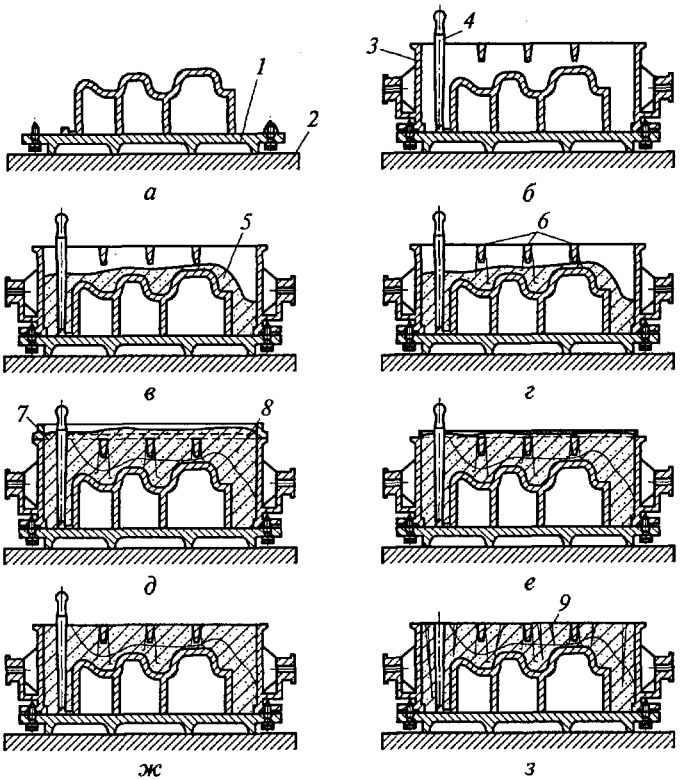


Рис. 7.2. Последовательность выполнения операций машинной формовки:

а — модельная плита с моделью; *б* — модельная плита с установленной на ней верхней опокой; *в* — засыпка облицовочной смеси в опоку; *г* — установка крючков на крестовины; *д* — засыпка наполнительной смеси; *е* — уплотнение смеси; *ж* — срезание излишков смеси; *з* — накалывание вентиляционных каналов; *1* — модельная плита; *2* — стол машины; *3* — опока; *4* — модель стояка; *5* — облицовочная формовочная смесь; *6* — стальные крючки; *7* — наполнительная рамка; *8* — наполнительная смесь; *9* — вентиляционный канал

При комплектной схеме (рис. 7.4, *а*) нижняя опока после ее набивки сдвигается на рольганг *9* со стола машины *8* с поворотным столом. Верхняя опока от машины *3* со штифтовым съемом передается к рольгангу *9* на пневматическом подъемнике, который перемещается по монорельсу *4*.

Сборщик устанавливает в нижней форме стержни, спаривает опоки по сборочным штырям, закрепляет их скобами, вынимает штыри и сталкивает на конвейер *1*. Пустые опоки после выбивки отливок возвращаются по конвейеру и сталкиваются толкателем на рольганг *5*.

Толкатель включает формовщик, который изготовляет верхние опоки. С помощью пневматического подъемника *6* он разъ-

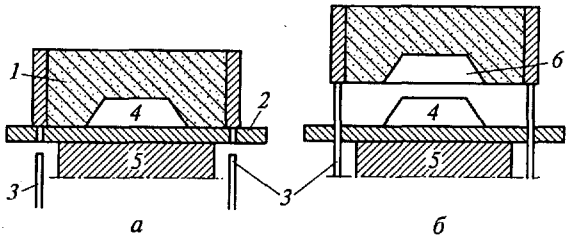


Рис. 7.3. Извлечение модели из полуформы штифтами:

а — полуформа после уплотнения; *б* — полуформа после извлечения модели; *1* — полуформа; *2* — модельная плита; *3* — штифты; *4* — модель; *5* — стол машины; *6* — полость формы

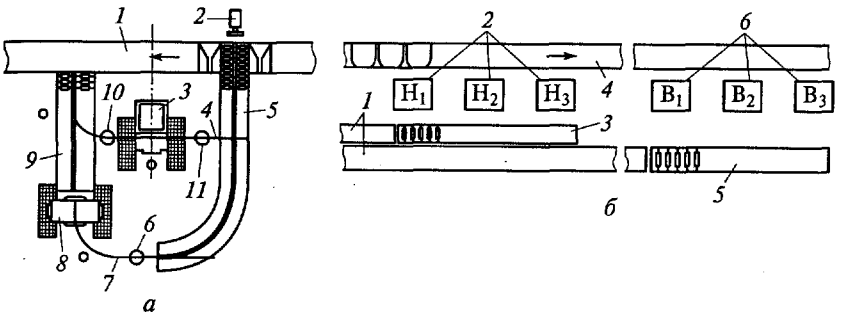


Рис. 7.4. Схемы организации рабочего места опочной формовки на встряхивающих с подпрессовкой машинах:

а — комплектная: *1* — конвейер; *2* — толкатель; *3* — машина; *4, 7* — монорельсы; *5, 9* — рольганги; *6, 10, 11* — пневматические подъемники; *8* — стол машины; *б* — групповая: *1* — ленточные транспортеры; *2* — машины, формующие «низ»; *3* — рольганг для нижних опок; *4* — конвейер; *5* — рольганг для верхних опок; *6* — машины, формующие «верх»; $Н_1 — Н_3$, $В_1 — В_3$ — соответственно нижние и верхние полуформы

единяет («распаривает») опоки, снимая верхнюю. Обслуживающая участок бригада состоит из трех человек.

При групповой схеме (рис. 7.4, *б*) машины *2* для изготовления нижних полуформ $Н_1 — Н_3$ сосредоточены в одной части конвейера, а машины *6* для формовки верхних полуформ $В_1 — В_3$ — в другой. При этом между ними создается такое расстояние, чтобы было достаточно времени для установки стержней и сборки форм непосредственно на конвейере *4*. Опоки после выбивки отливок возвращаются к машинам транспортерами *1* и по рольгангам *3* и *5*.

Комплектная схема является типичной для литейных цехов массового производства. Групповая схема предпочтительней, если при изготовлении формы используется много стержней. В этом случае длина конвейера для установки стержней значительно больше, чем в комплектной схеме.

7.2. БЕЗОПОЧНАЯ ФОРМОВКА

При безопочной формовке в отличие от опочной используется только одна двусторонняя модельная плита.

Безопочная формовка применяется для изготовления мелких (до 4 кг) отливок, как правило, без стержней. Последователь-

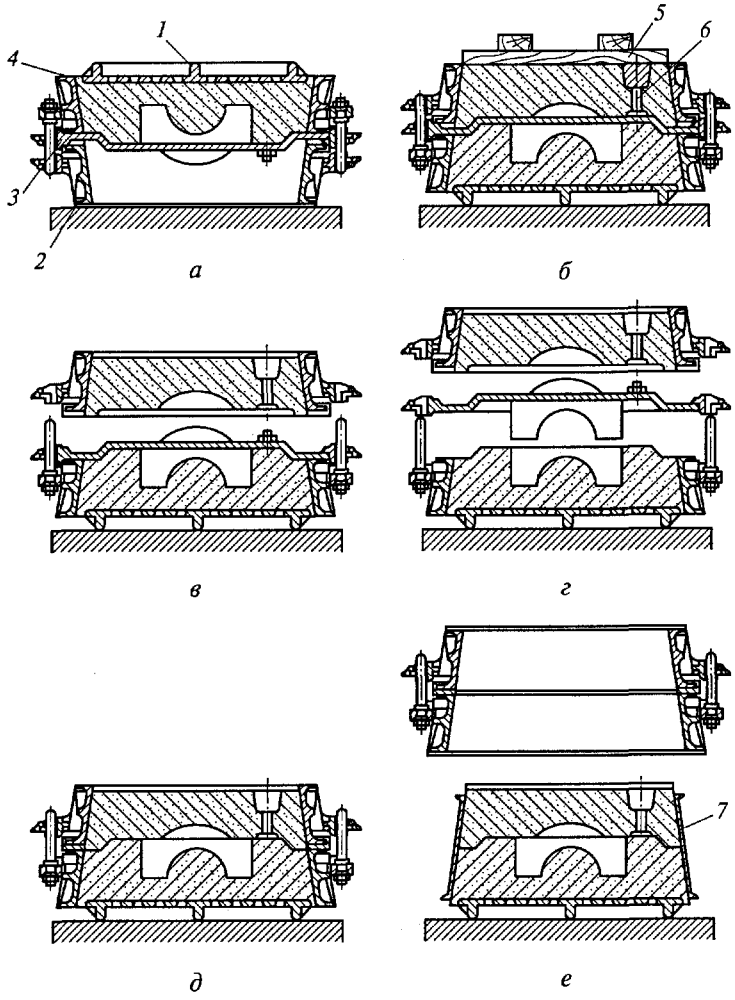


Рис. 7.5. Последовательность выполнения операций (*а*—*е*) изготовления безопочной формы:

а — изготовление нижней полуформы; *б* — изготовление верхней полуформы; *в* — снятие верхней полуформы; *г* — снятие двусторонней модельной плиты; *д* — сборка формы; *е* — снятие опок и надевание жакета; *1* — подопочный щиток; *2*, *4* — соответственно верхняя и нижняя опоки; *3* — модельная плита; *5* — прессовая плита; *6* — пружинный стояк; *7* — стальной жакет

ность выполнения операций изготовления формы по безопочному варианту формовки представлена на рис. 7.5.

На столе машины размещают верхнюю опоку *2* ушками вверх, по штырям устанавливают двустороннюю модельную плиту *3*, обдувают ее сжатым воздухом и наносят из пульверизатора разделительное покрытие. Далее устанавливают нижнюю опоку *4* ушками вниз, насыпают в опоку формовочную смесь, разравнивают ее по всей площади опоки и уплотняют встряхиванием. Срезают вручную излишки смеси, делают наколы для выхода газов, накладывают подопочный щиток *1* и поворачивают вручную обе опоки на 180°. Обдувают модель верха сжатым воздухом, наносят из пульверизатора разделительное покрытие, устанавливают модель пружинного стояка *6*, насыпают из бункера в опоку смесь с избытком. Смесь выравнивают по площади опоки и вручную вдавливают в нее прессовую плиту *5*. Устанавливают прессовую траверсу в рабочее положение и выполняют уплотнение верхней полуформы прессованием. Отводят прессовую траверсу в сторону, расталкивают и снимают с верхней полуформы прессовую плиту, извлекают модель пружинного стояка, накалывают вентиляционные каналы для выхода газов, включают вибратор (для лучшего отделения модели от смеси) и вручную снимают верхнюю полуформу с модельной плиты, кладут ее на бок на верстак. Продувают сжатым воздухом лад полуформы и канал стояка, затем также вручную снимают модельную плиту с нижней полуформы, устанавливают в нее стержни и верхнюю полуформу на нижнюю. Далее снимают обе опоки одновременно с формы, устанавливают форму на конвейер и надевают стальной жакет *7*.

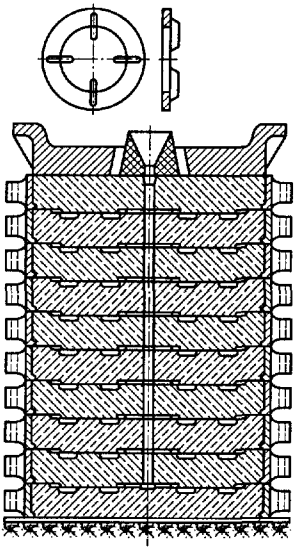


Рис. 7.6. Этажная формовка с использованием круглых опок

При производстве поршневых колец широкое распространение получила этажная (стопочная) формовка с использованием круглых опок (рис. 7.6) небольшой (30 мм) высоты. Отливки располагаются по окружности вокруг центрального стояка. Стопка, как правило, делается довольно высокой 300...450 мм, и недостатком стопочной формовки является большой металлостатический напор, что приводит к такому дефекту, как подутие отливок, расположенных в нижней части стопки. Во избежание попадания шлака в отливку, особенно в первые моменты заливки, под чашу-нарощалку устанавливают расплавляющуюся пластину.

7.3. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОПОЧНАЯ И БЕЗОПОЧНАЯ ФОРМОВКА

Высокий уровень стабилизации технологических параметров, относящихся к форме и металлу, достигается в условиях автоматизированного производства. Операции выполняются на автоматизированных формовочных линиях (АФЛ) опочной и безопочной формовки. Каждая линия при этом имеет свою смесеприготовительную систему, плавку ведут дуплекс-процессом, что обеспечивает по сравнению с машинной формовкой более высокий уровень стабилизации технологических параметров, относящихся к форме и металлу, и повышение точности размеров и масс отливок в среднем на два класса по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) (см. гл. 16).

На рис. 7.7 представлена АФЛ среднего и мелкого литья в ОАО «Волжский автомобильный завод» по опочному варианту формовки. Опоки имеют размеры 700 × 800 × 260/260 мм. Линия, снабженная двумя автоматами «СПО-Матик», работающими в режиме встряхивания с одновременной подпрессовкой, имеет производительность 270...280 форм в час. Давление прессования 1,2 МПа.

Залитая металлом форма после охлаждения поступает в распаровщик *4*, который снимает верхнюю полуформу на ходу конвейера и передает ее в выбивное устройство *3*. Выбивка формы осуществляется путем прошивки полуформы плоской прошивной плитой. Далее пустая опока поступает к автомату *2* изготовления верхней полуформы. Заформованная опока выходит из автомата на рольганг *6*, который доставляет ее к сборщику форм *1*.

Нижняя полуформа, оставшаяся на конвейере после снятия верхней опоки, с отливками и оставшейся массой формовочной

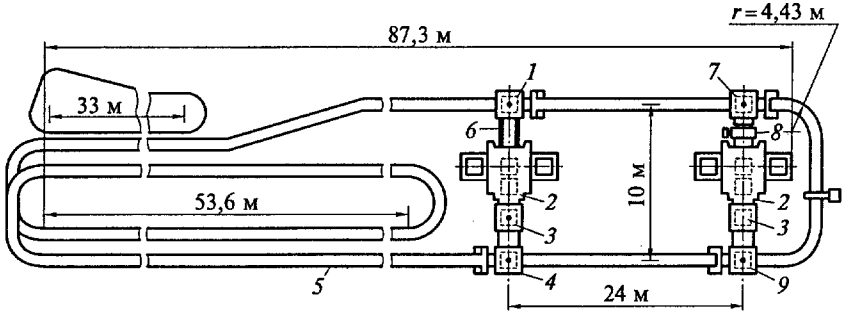


Рис. 7.7. Автоматизированная формовочная линия среднего и мелкого литья в ОАО «Волжский автомобильный завод»:

1 — сборщик форм; *2* — автомат изготовления верхней (нижней) полуформы; *3* — выбивное устройство; *4* — распаровщик; *5* — литейный конвейер; *6* — рольганг; *7* — установщик форм на конвейер; *8* — кантователь; *9* — перестановщик форм; *r* — радиус поворота АФЛ

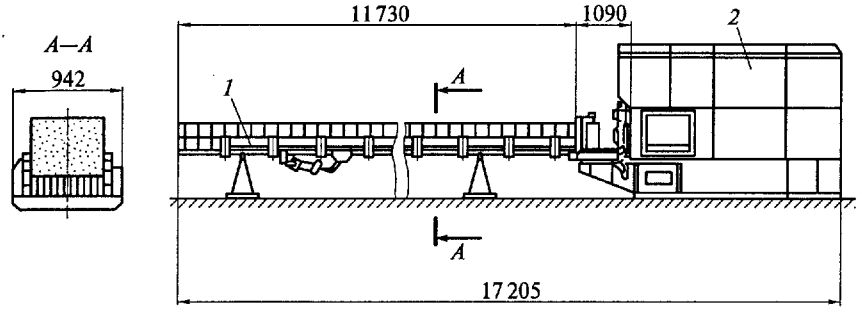


Рис. 7.8. АФЛ типа «DISA» для безопочной формовки с вертикальной плоскостью разъема:
1 — транспортная линия; *2* — формовочный автомат

смеси движется до перестановщика форм *9*, который переставляет форму в выбивное устройство *3*, работающее также по методу прошивки. Ком смеси вместе с отливками проваливается на вибролотки, расположенные на первом этаже цеха, и отливки, отделенные от формовочной смеси на вибролотках, поступают сначала в накопитель, а затем в короб охладительного толкающего конвейера. Пустая опока без кантовки (опока низа двусторонняя: обе стороны одинаковые, снабжены втулками) поступает в автомат формовки нижней полуформы *2*, работающий аналогично автомату изготовления верха формы. Далее готовая нижняя полуформа попадает на конвейер, а по нему — сначала в кантователь *8*, а затем в установщик форм *7*, опускающий нижнюю полуформу на конвейер, по которому она через участок установки стержней поступает к сборщику форм *1*, где выполняется ее накрытие верхней полуформой. После сборщика форма без установки грузов и дополнительного крепления поступает на заливочный участок. Веса верхней полуформы с массивной опокой достаточно, чтобы предотвратить раскрытие места стыка полуформ и уход металла по разъему. Операции, связанные с перестановкой полуформ и их сборкой, проводятся на непрерывно движущемся конвейере.

На рис. 7.8 представлена АФЛ типа «DISA» для безопочной формовки с вертикальной плоскостью разъема. Производительность АФЛ при двухсменной работе составляет 5...7 тыс. т отливок в год.

Формовочная линия состоит из формовочного автомата *2* и транспортной линии *1*. Формовочная камера машины имеет вид прямоугольного короба. С торцов камера закрывается прессовой и поворотной плитами, на которых смонтированы модельные комплекты. В нижней части камера ограждена донной плитой, вверху — надувной плитой, через которую производится надув и предварительное уплотнение смеси пескодувным способом.

ГЛАВА 8

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ

Для изготовления стержней используются два типа технологий: с отверждением и упрочнением стержня вне оснастки или в оснастке. При традиционной технологии для упрочнения применяют конвективную сушку вне оснастки. При этом готовый стержень, имеющий низкую сырую прочность, деформируется на сушильной плите до и во время сушки, и размеры стержня в направлении, перпендикулярном сушильной плите, уменьшаются, а в параллельном — увеличиваются. Это приводит к низкой геометрической и размерной точности стержней, а следовательно, и отливок.

Технология изготовления стержней, упрочнение которых происходит в оснастке, обеспечивает существенное повышение точности как стержней, так и соответственно точности отливок. Наибольшее распространение в крупносерийном и массовом производствах стержней получили прогрессивные технологии по нагреваемой (Hot-box-процесс, 1960-е гг.) и по холодной (Cold-box-процесс, 1980-е гг.) оснасткам. В этих технологиях отверждение стержней происходит в оснастке.

По степени механизации производство стержней подразделяется на ручное и механизированное.

8.1. РУЧНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ С КОНВЕКТИВНОЙ СУШКОЙ

При ручном изготовлении стержней используются открытые разъемные и вытряхные стержневые ящики (см. подразд. 4.3). Материалом для стержневых ящиков служат дерево и редко алюминиевые сплавы.

Операции при ручном изготовлении стержней следующие: нанесение на поверхность ящика разделительных покрытий (графит, ликоподий); наполнение смесью ящика и ее уплотнение; срезание излишка смеси; выполнение искусственной вентиляции; установка армирующих металлических каркасов (если они необходимы); наложение плоской или фигурной сушильной плиты на ящик (или на его половину для разъемного ящика) и поворот ящика с плитой на 180°; «расталкивание» стержня ударами по

ящику деревянным молотком; снятие стержневого ящика и отправка его на сушильной плите в сушильную камеру.

Для уплотнения смеси используют плоскую трамбовку, а в случае крупных стержней — пневмотрамбовку. Важной операцией при изготовлении стержней является их армирование металлическими каркасами для увеличения сырой прочности. Тип и размер каркаса выбирают в зависимости от сложности стержня, его габаритных размеров, конфигурации, расположения в форме.

Каркас должен отвечать определенным требованиям: обеспечивать достаточную прочность и жесткость стержня, не препятствовать усадке отливки при затвердевании, не мешать устройству в стержнях вентиляционных каналов, быть легкоустанавливаемым в стержневом ящике и легкоудаляемым из отливки при выбивке. Перед установкой в ящик каркасы окунают в суспензию огнеупорной глины. Предварительно в стержневой ящик засыпают часть смеси и уплотняют ее. На уплотненный слой укладывают один или несколько каркасов, досыпают в ящик смесь и завершают уплотнение. Варианты каркасов показаны на рис. 8.1.

Для тонких простых стержней применяют проволоку диаметром 3...10 мм, для более сложных стержней используют проволочные каркасы (рис. 8.1, *а*). Для изготовления крупных стержней применяют сварные (рис. 8.1, *б*), литые чугунные (рис. 8.1, *в*) и

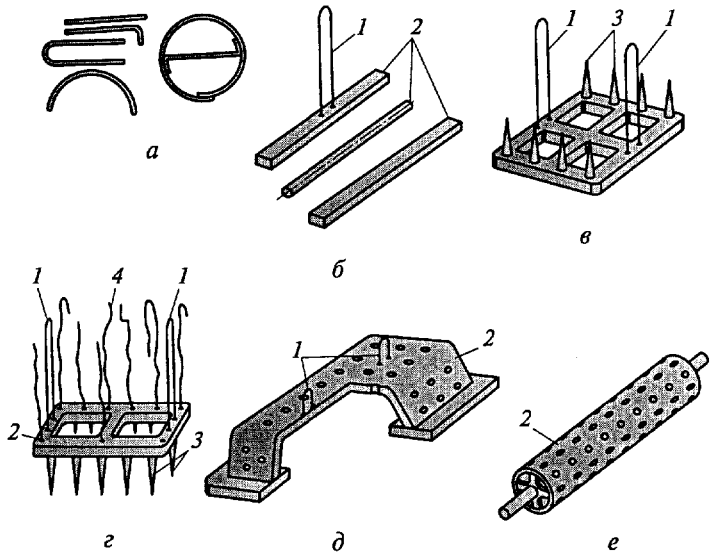


Рис. 8.1. Стержневые каркасы:

а — проволочные; *б* — сварные планки; *в* — рамочные литые чугунные; *г* — комбинированные; *д* — коробчатые; *е* — трубчатые; *1* — подъемы; *2* — основания; *3* — шпильки; *4* — проволока

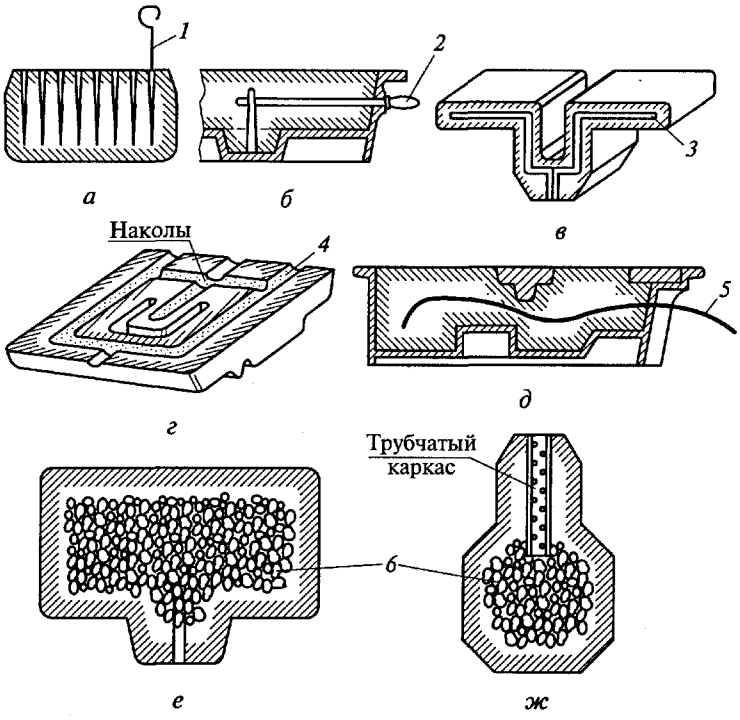


Рис. 8.2. Способы выполнения газоотводных каналов в стержне:

а — вентиляционной иглой; *б* — шомполом; *в* — установкой выплавляемых и удаляемых после сушки фитилей; *г* — прорезанием каналов по плоскости разъема стержня; *д* — жгутом (веревочным или резиновым); *е, ж* — заполнение пустотелого стержня пористым материалом; *1* — игла; *2* — шомпол; *3* — фитиль; *4* — канал; *5* — жгут; *6* — шлак

комбинированные (рис. 8.1, *г*) каркасы. Соединением в общую конструкцию литых чугунных и стальных проволочных элементов с помощью вязальной проволоки либо заливки чугуна получают комбинированный каркас. Рациональным является применение каркасов из разборных и нормализованных элементов (рис. 8.1, *д*, *е*). В большие каркасы заливают «вески» (подъемы), с помощью которых стержни транспортируют и устанавливают.

Также важным моментом является обеспечение вентиляции стержней для предотвращения образования газовых раковин, так как стержни, как правило, окружены металлом. С этой целью внутренние объемы средних и крупных массивных стержней заполняют шлаком, коксом, оборотной смесью с древесными опилками. При устройстве вентиляционных каналов следует учитывать, что горячие газы всегда движутся снизу вверх, через боковые отверстия газы выходят труднее. Для обеспечения выхода газов вниз требуется создание в вентиляционных каналах повышенного дав-

ления, которое, в свою очередь, может привести к образованию раковин в отливках.

Выполнение вентиляционных каналов в сложных по конфигурации стержнях имеет свою специфику — используют жгуты, пропитанные парафином или битумом. Пропитка при сушке выгорает, а жгуты вытягивают из стержня.

На рис. 8.2 показаны возможные способы выполнения вентиляции путем создания газоотводных каналов в стержне.

Для облегчения извлечения стержней применяют вытряхные стержневые ящики, состоящие из жакета, в котором установлены вкладыши, оформляющие рабочую полость стержня. Данные ящики

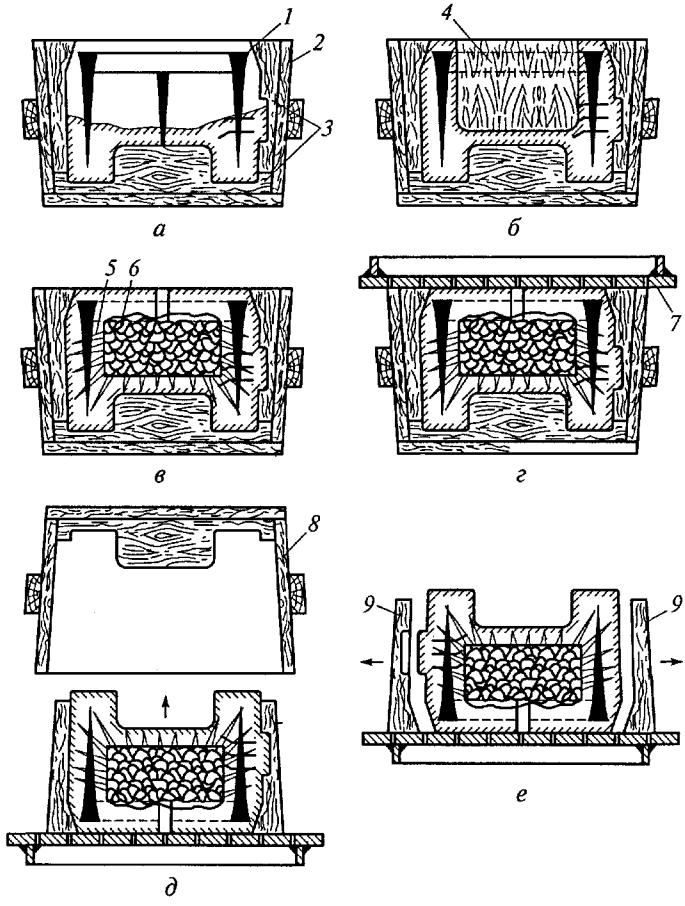


Рис. 8.3. Последовательность выполнения операций по изготовлению крупного стержня по вытряхному ящику (*а*—*е*):

1 — сборный каркас; *2*, *8* — стержневые ящики; *3*, *9* — вкладыши; *4* — деревянная болванка для формовки газоотводной полости; *5* — вентиляционный канал; *6* — газоотводная полость, заполненная шлаком; *7* — сушильная плита

применяются для средних и крупных стержней сложной конфигурации. Последовательность выполнения операций по изготовлению крупного стержня по вытряхному ящику приведены на рис. 8.3. На дно ящика *2* насыпают слой стержневой смеси толщиной 80...100 мм и уплотняют его. Затем, пользуясь молотком, осаживают в ящик каркас *1*, смоченный в эмульсии из огнеупорной глины. Для образования газоотводной полости вставляют деревянную болванку *4*, уплотняют вокруг нее смесь и затем болванку извлекают. Иглой выполняют вентиляционные каналы *5*. После этого образовавшуюся полость стержня заполняют шлаком *6* и насыпают верхний слой стержневой смеси, уплотняя его трамбовкой. После уплотнения срезают лишнюю смесь и сглаживают поверхность стержня, затем на стержневой ящик укладывают металлическую сушильную плиту *7*, скрепляют ее с ящиком и переворачивают их. Ящик *8* отсоединяют от плиты, обстукивают деревянным молотком, снимают его жакет и производят вытяжку вкладышей *9* по стрелке (рис. 8.3, *е*), оставляя стержень на плите. После отделки, прошпиливания и окраски стержень отправляют в сушильную печь. В этом случае стержень может выполняться без формовочных уклонов.

8.2. МАШИННОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ С КОНВЕКТИВНОЙ СУШКОЙ

При механизированном изготовлении стержней применяют пескодувные и пескострельные машины (см. гл. 5) и стержневые ящики для них (см. подразд. 4.3). Средние по массе стержни изготовляют на встряхивающих станках с поворотно-вытяжными машинами (рис. 8.4). Применение таких машин и механизмов обеспечивает стабильное извлечение стержней без поломок и нарушения геометрии. Изготовление стержней ведется в открытом стержневом ящике *2*, закрепленном на столе встряхивающей машины (см. рис. 8.9).

После уплотнения на открытую поверхность ящика устанавливают сушильную плиту *1*, далее стержневой ящик с плитой поступает на стол *4* поворотно-вытяжной машины. Гидроцилиндры машины прижимают плиту к стержневому ящику и поворачивают на 180°. После поворота включаются вибраторы, облегчающие съем ящика, и вначале медленно, а затем быстрее опускается приемный стол *5* с плитой и стержнем *3*, выходящим из ящика под действием силы тяжести. Затем выполняется обратная кантовка поворотно-вытяжной машины, и ящик возвращается в исходное положение для подготовки его к повторному циклу на встряхивающей машине.

Извлечение стержней из разъемных ящиков выполняется в следующем порядке. Специальный механизм осуществляет съем верхней половины ящика, оставляя стержень в другой половине. При

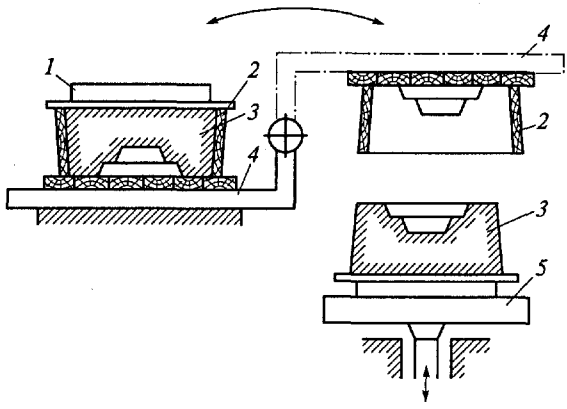


Рис. 8.4. Схема извлечения средних стержней с использованием поворотно-вытяжных машин:

1 — сушильная плита; *2* — стержневой ящик; *3* — стержень; *4* — поворотный стол; *5* — приемный (вытяжной) стол

наличии в ящике отъемных частей специальные цилиндры снимают их со стержня. Затем на стержень накладывается фасонная сушильная плита (драйер), осуществляется зажим и поворот этой системы на 180° с последующим извлечением стержня указанным выше способом.

Общими недостатками, свойственными традиционным методам изготовления стержней с конвективной сушкой, являются:

- низкая геометрическая и размерная точность стержней;
- необходимость использования металлических каркасов;
- низкая производительность (на получение готового стержня требуется 1...2 ч, включая сушку).

В настоящее время данный процесс используют, как правило, в единичном производстве и только в редких случаях в массовом производстве. В основном же в массовом производстве применяется технология изготовления стержней по нагреваемой оснастке, которая в настоящее время постепенно вытесняется технологией изготовления стержней по холодной оснастке.

8.3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ ПО ГОРЯЧЕЙ ОСНАСТКЕ

В данной технологии стержни изготовляют на пескодувных и пескострельных стержневых машинах с вертикальной и горизонтальной плоскостью разъема. При этом используется дорогостоящая стержневая оснастка из серого чугуна, которая для извлечения стержней в обязательном порядке (см. гл. 16) снабжается тол-

кателями. Нагрев оснастки до температуры 280...300 °С выполняют газовыми горелками или электронагревом, в основном тэнами. Надув стержневого ящика из пескодувного и пескострельного резервуаров осуществляют с использованием водоохлаждаемых надувных плит, которые бывают плоскими, а также с металлическими или резиновыми соплами. Надувные отверстия в плоских плитах должны точно совпадать с надувными отверстиями в ящике. Плоские плиты просты по конструкции и в изготовлении, однако их использование сопряжено со следующими существенными недостатками: возможен выдув смеси в зазор между плитой и ящиком; на стержнях после надува, как правило, остаются столбики затвердевшей смеси, что увеличивает трудоемкость отделочных операций. Из-за указанных недостатков применение плоских плит резко ограничено.

Надувные плиты с металлическими водохлаждаемыми соплами (рис. 8.5) не имеют отмеченных недостатков, присущих плоским плитам, поэтому они широко используются в литейных цехах. Сопло *2* прикрепляют к надувной плите *1*. Плотное соединение сопла с вдувным отверстием ящика *4* обеспечивается сменным наконечником *3* из термостойкой резины. В некоторых моделях машин водоохлаждаемыми выполняют не только сопла и плиты, но и пескодувный резервуар и бункер для смеси. Работа на машине по изготовлению стержней горячего отверждения состоит в следующем.

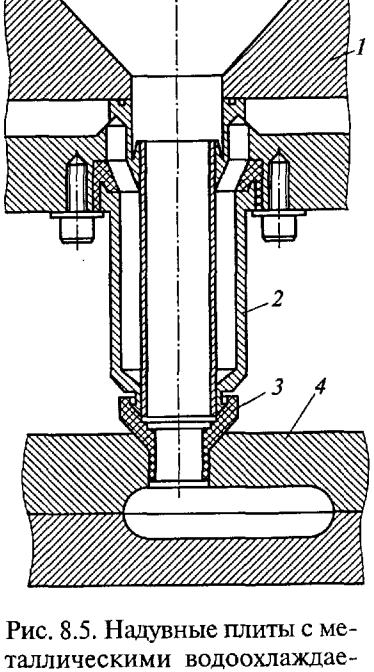


Рис. 8.5. Надувные плиты с металлическими водоохлаждаемыми соплами:

1 — надувная плита; *2* — водоохлаждаемое сопло; *3* — резиновый наконечник; *4* — стержневой ящик

По достижении необходимой температуры нагрева стержневого ящика его рабочие поверхности очищают, наносят на них разделительное покрытие для уменьшения прилипаемости смеси и облегчения извлечения стержней. Термостойкость разделительных покрытий должна быть не ниже 300 °С, кроме того разделительные покрытия должны иметь незначительное газовыделение и быть недефицитными.

Для нагреваемых ящиков применяются разделительные покрытия на основе кремнийорганических полимеров и каучука. Наибольшее распространение получило разделительное покрытие СКТ-Р, представ-

ляющее собой 3...4%-ный раствор каучука СКТ (синтетический каучук термостойкий) в уайт-спирите.

После подготовки ящики заполняют формовочной смесью. При использовании пескодувного или пескострельного процесса применяются только пластичные (увлажненные) песчано-смоляные стержневые смеси. При этом смесь дольше сохраняет живучесть и можно получать качественные стержни самой сложной конфигурации. Надув стержня следует проводить по возможности в знаковые его части для уменьшения трудоемкости отделочных операций. В целях экономии дорогостоящей смеси стержни часто изготовляют пустотелыми (оболочковыми). При этом одновременно повышается их способность отводить газы и уменьшается объем выделяющихся при сгорании смолы газов. Пустоты в стержнях выполняются специальными вставками, называемыми «опустошителями», которые фиксируются в стержневом ящике по посадочному пояску.

Для извлечения стержней из неподвижной половины стержневого ящика используют толкатели из жаропрочной стали, с которых стержни снимают специальным вилочным съемником. Возможно также выталкивание стержня из ящика на ленточный конвейер толкателями специальной плиты через вдувные отверстия.

При использовании сухих песчано-смоляных смесей получают оболочковые стержни бункерным, пескодувным, центробежным способами и по Кронинг (Croning)-процессу.

8.3.1. Бункерный способ изготовления оболочковых стержней

При бункерном способе нагретый ящик *1* устанавливают и закрепляют на бункере *3*, предварительно заполненном смесью

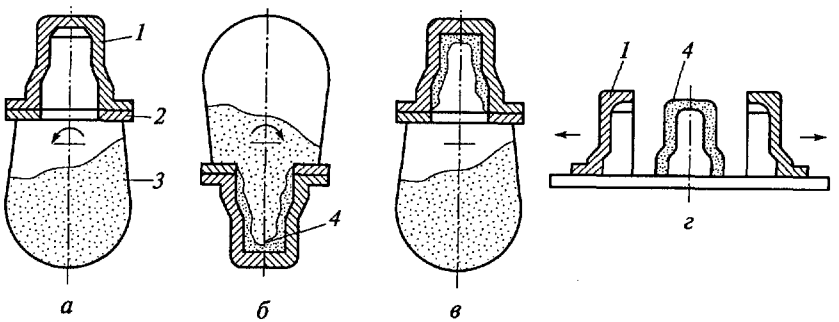


Рис. 8.6. Бункерный способ изготовления оболочковых стержней:

а — установка нагретого ящика на бункер со смесью; *б* — переворот ящика вместе с бункером; *в* — обратный поворот после выдержки ящика с бункером и высыпание неотвержденной смеси; *г* — разъем ящика (по стрелкам) и извлечение оболочкового стержня; *1* — ящик; *2* — верхняя плита; *3* — бункер; *4* — твердая оболочка (стержень)

(рис. 8.6). На верхней плите *2* бункера имеются теплоизоляционное покрытие и отверстие, соответствующее отверстию в стержневом ящике. При повороте бункера вместе с ящиком на 180° смесь уплотняется под действием гравитационных сил, и при соприкосновении с нагретой оснасткой смола размягчается, а затем отверждается с образованием твердой оболочки *4* необходимой толщины. Толщина оболочки зависит от времени выдержки. При обратном повороте смесь, не приставшая к оснастке, ссыпается, как правило, через знаковые части в бункер. Ящик снимают с бункера и отправляют в печь на 2...3 мин для окончательного отверждения стержня. Бункерный способ прост в исполнении, не требует сложного оборудования, его применяют только при изготовлении простых стержней с большими открытыми знаковыми частями.

8.3.2. Пескодувный способ изготовления оболочковых стержней путем надува смеси

Пескодувный способ по сравнению с предыдущим является более производительным способом изготовления оболочковых стержней. Надув смеси в ящик осуществляется в основном снизу

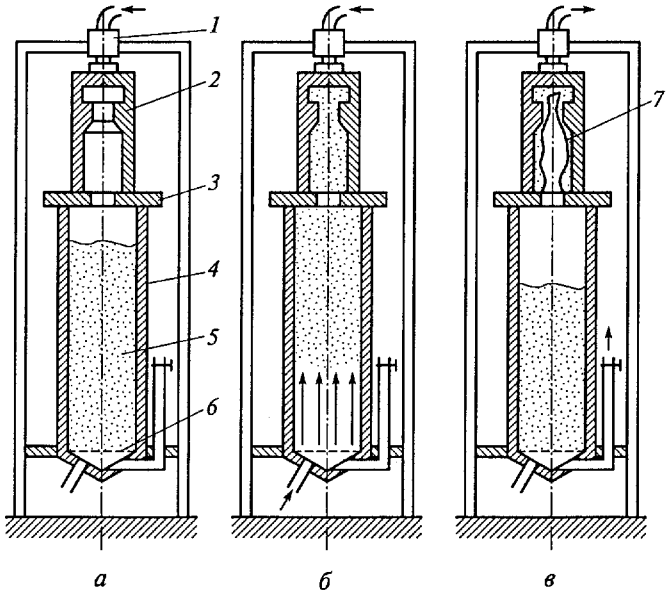


Рис. 8.7. Пескодувный способ изготовления оболочковых стержней:

а — установка стержневого ящика на бункер со смесью; *б* — надув смеси в ящик; *в* — высыпание неотвержденной смеси из ящика; *1* — пневмоцилиндр; *2* — стержневой ящик; *3* — водоохлаждаемая плита; *4* — пескодувный резервуар; *5* — смесь; *6* — перегородка резервуара; *7* — оболочка (стержень)

(рис. 8.7), для чего к пескодувному резервуару *4*, предварительно заполненному смесью *5*, через водоохлаждаемую плиту *3* прижимают пневмоцилиндром *1* нагретый стержневой ящик *2* и под пористую перегородку *6* резервуара впускают сжатый воздух. Смесь под действием сжатого воздуха задувается в полость стержневого ящика и удерживается в нем до окончания процесса формирования оболочки *7* необходимой толщины. После этого подачу сжатого воздуха в резервуар прекращают, и избыток смеси под действием собственного веса падает в пескодувный резервуар. После окончательного отверждения стержень извлекают из ящика.

В ряде современных машин для изготовления оболочковых стержней из песчано-смоляных смесей бункерный и пескодувный способы засыпки совмещены. Кроме того, для облегчения и более полного удаления избытков смеси из поднутрений в ящике применяют покачивание пескодувного резервуара на ±45°.

8.3.3. Центробежный способ изготовления оболочковых стержней

При центробежном способе цилиндрические стержни изготовляют во вращающемся ящике *4* (рис. 8.8), находящемся в нагревательной печи *3*. Способ включает следующие операции: введение

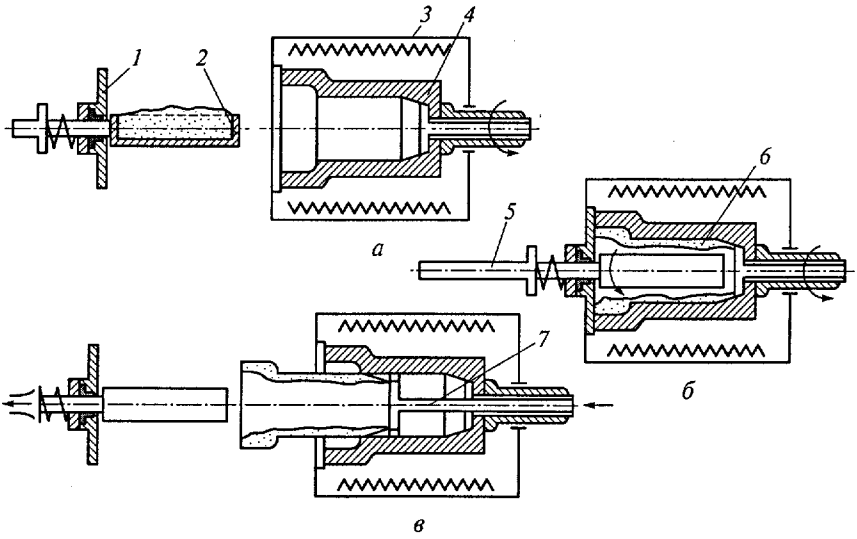


Рис. 8.8. Центробежный способ изготовления оболочковых стержней:

а — операция введения лотка в стержневой ящик; *б* — период формирования стержня; *в* — завершающая операция выталкивания стержня; *1* — подпружиненный диск; *2* — лоток; *3* — нагревательная печь; *4* — вращающийся ящик; *5* — вал лотка; *6* — оболочковый стержень; *7* — толкатель

лотка *2* со смесью в стержневой ящик (при этом для образования внешнего знака стержня на валу *5* лотка имеется подпружиненный диск *1*, закрывающий знаковую часть стержневого ящика во время загрузки, как показано на рис. 8.8, *а*); высыпание смеси из лотка в ящик и формирование стержня (рис. 8.8, *б*); извлечение лотка и выталкивание готового стержня (рис. 8.8, *в*). Время выдержки смеси в нагретом ящике для получения твердой оболочки составляет 2,5...3 мин. Окончательное упрочнение стержня происходит на воздухе после его извлечения из ящика за счет аккумулированной стержнем теплоты.

Следует отметить наряду с хорошей поверхностью пониженную геометрическую точность отливок: при толщине стенок цилиндрических стержней 6...8 мм появляется овальность в плоскости разъема отливок гильз цилиндров (см. гл. 16).

8.3.4. Кронинг-процесс

В основе Кронинг-процесса (рис. 8.9) лежит тот же принцип, что и при изготовлении стержня бункерным способом, но вращение стержневого ящика *2* происходит в трех плоскостях. Остаток смеси *4* высыпается при извлечении пробки *3*. В этом способе отвержденный пустотелый стержень *1* имеет лучшее, по сравнению с бункерным способом, предварительное уплотнение и окончательная прочность стержней выше.

К преимуществам стержней, изготовляемых по нагреваемой оснастке, по сравнению со стержнями, упрочнение которых происходит конвективной сушкой, можно отнести следующие:

- существенно повышаются геометрическая точность и размерная точность стержней и соответственно отливок;
- отпадает необходимость в использовании каркасов и сушильных плит;
- появляется возможность изготовления оболочковых стержней, обладающих высокой газопроницаемостью и пониженным объемом газовыделения.

К недостаткам технологии изготовления стержней по нагреваемой оснастке следует отнести дороговизну используемого оборудования и технологической оснастки, значительные энергетические затраты и загрязнение окружающей среды выделяющимися газами.

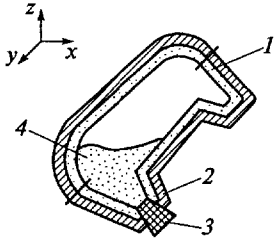


Рис. 8.9. Схема изготовления оболочковых стержней Кронинг-процессом:
1 — стержень; *2* — стержневой ящик; *3* — пробка; *4* — смесь

8.4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ ПО ХОЛОДНОЙ ОСНАСТКЕ

В данной технологии изготовления стержней используются холоднотвердеющие смеси на основе синтетических смол и жидкого стекла в качестве связующих.

Холоднотвердеющие смеси объединяют два направления технологии изготовления стержней, которые за рубежом называют «No bake» и «Cold-box» [52].

К направлению «No bake» (от англ. *no* — нет и *bake* — сушка) относят технологии изготовления стержней и форм с использованием самотвердеющих в холодном состоянии смесей, в состав которых входят связующее и катализатор (или отвердитель). Технологии направления «No bake», представленные в табл. 8.1, применяют в единичном и мелкосерийном производстве средних и крупных форм и стержней.

К направлению «Cold-box» (от англ. *cold* — холодный и *box* — ящик) относят технологии с использованием смесей, в состав которых изначально не входит катализатор (отвердитель). Отверждение готового стержня происходит при его продувке газообразным реагентом, выступающим в роли катализатора (отвердителя). Технологии направления «Cold-box» представлены в табл. 8.2.

Наиболее широко за рубежом используется технология изготовления стержней Cold-box-amin-процессом, основными достоинствами которого по сравнению с другими процессами являются равномерное объемное отверждение стержня в течение 5...20 с после продувки; высокая прочность стержней (сразу после продувки и после 24 ч); возможность изготовления самых сложных стержней, оснастка может изготовляться не только из металла, но и из пластмассы и дерева; значительно меньшие энергетические затраты и более высокая точность размеров стержней, а следовательно, и отливок, например по сравнению с Hot-box-про-

Таблица 8.1. **Технологии с использованием связующих и катализаторов (отвердителей) в составе смесей**

Технология	Связующее	Катализатор (отвердитель)
ХТС-процесс	Смолы: карбамидформальдегидные, карбамидфурановые, фенолформальдегидные, фенолфурановые, фурановые	Ортофосфорная кислота, сульфокислоты (БСК, ПТСК)
	Жидкое стекло	Сложный эфир или их смесь
ЭЕР-set-процесс	Фенольная смола, полиизоцианат	Жидкий амин
Alpha-set-процесс	Щелочная фенольная смола	Смесь сложных эфиров

Таблица 8.2. **Технологии отверждения смесей продувкой газообразных катализаторов (отвердителей)**

Технология	Связующее	Катализатор (отвердитель)
Cold-box-amin-процесс	Фенольная смола, полиизоцианат	Газообразный амин
Beta-set-процесс	Щелочная фенольная смола	Метилформиат
Resol-CO_2-процесс	Щелочная фенольная смола	Углекислый газ
Epoxy-SO_2-процесс	Эпоксидная смола + акрилат + органический пероксид	Сернистый ангидрид
CO_2-процесс	Жидкое стекло	Углекислый газ

цессом; высокая производительность; возможность автоматизации процесса; высокое качество стержней; легкая выбиваемость; возможность регенерации отработанных смесей.

В процессе изготовления стержней предусматривается обязательное использование специальных герметизированных пескодувных машин со встроенным газогенератором и отсосом остатков амина и последующей их нейтрализацией.

Технологический процесс изготовления стержней по Cold-box-процессу состоит из следующих операций. В газогенераторе происходит испарение жидкого амина, поступающего из баллона при температуре 40 °С. Пары амина смешиваются в определенной концентрации с сухим воздухом. Пескодувная машина со встроенным смесителем является полностью герметизированной. После надува смеси в ящик надувная головка отводится в сторону, а к стержневому ящику подводится специальная плита для продувки газообразным катализатором. В комплект оборудования также входят фильтр для улавливания твердых частиц; ванна с серной кислотой; скруббер — устройство, в котором происходит улавливание вредных газов и их нейтрализация с помощью жидкостей; ванна с щелочью.

8.5. СБОРКА, КОНТРОЛЬ И ХРАНЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ

Сложные стержни, как отмечено в подразд. 2.6.1, целесообразно разбивать на простые с последующей их склейкой. Для обеспечения требуемой конфигурации и точности размеров плоскости склеивания стержней шлифуют и зачищают. С этой целью должны быть предусмотрены припуски 1... 2 мм на поверхностях стержней. Зачистку проводят с использованием алюминиевых кондукторов, которые имеют специальные опорные элементы для надежной и точной фиксации в них стержня. На рис. 8.10 показана ручная и

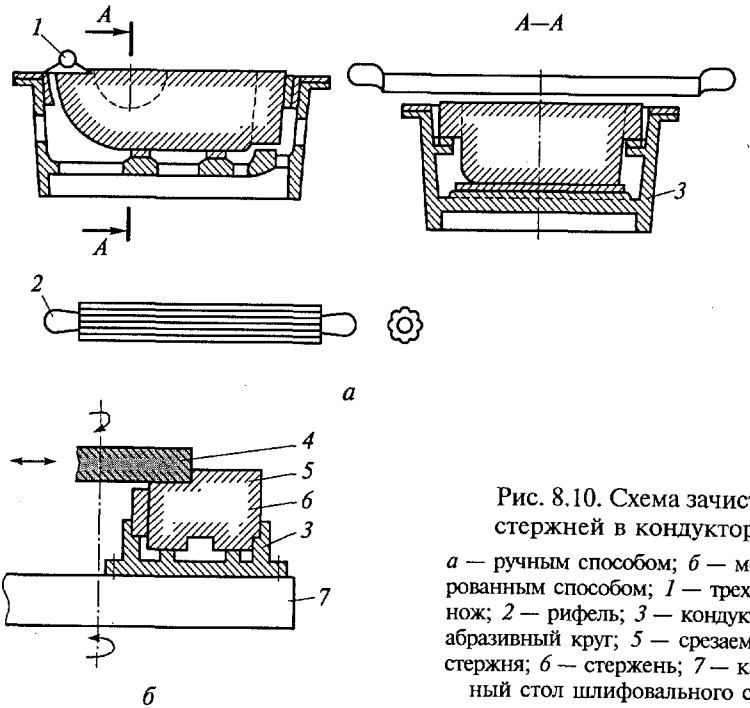


Рис. 8.10. Схема зачистки стержней в кондукторах:

а — ручным способом; *б* — механизированным способом; *1* — трехгранный нож; *2* — рифель; *3* — кондуктор; *4* — абразивный круг; *5* — срезаемая часть стержня; *6* — стержень; *7* — карусельный стол шлифовального станка

ıеханизированная зачистка стержней в кондукторах с использо-анием трехгранного ножа *1*, рифеля *2*, кондуктора *3*, в который станавливается стержень *6*, а также абразивного круга *4* и каруельного стола *7* шлифовального станка.

Для склеивания стержней используют клей на основе декстри-а, сульфитного щелока, жидкого стекла или других связующих. отовые стержни подвергаются контролю. При этом работники ТК выполняют визуальный контроль, проверку геометрических азмеров шаблонами, калибрами, скобами, линейками, щупами рядом других приспособлений. Бракованные стержни немедлено разрушаются, чтобы исключить их случайное использование в роизводстве.

Большинство стержней окрашиваются самовысыхающими красами или красками на водной основе. В последнем случае стержни одлежат сушке (см. также подразд. 6.2.2).

После принятия стержней на участке ОТК их направляют на клад, который представляет собой стационарные стеллажи или одвесной толкающий конвейер. Срок хранения стержней ограичен и зависит от типа связующего. Так, например, для стержей на жидкостекольных связующих срок хранения не должен пре-ышать 5...7 сут.

ГЛАВА 9

ПРОТЯЖКА МОДЕЛЕЙ И СТЕРЖНЕВЫХ ЯЩИКОВ

Ответственной операцией при изготовлении песчаных форм и стержней является операция протяжки модельно-стержневой оснастки (другими словами съем форм и стержневых ящиков).

При этом часто возникают подрывы, обвалы форм и стержней или в них появляются трещины.

9.1. АНАЛИЗ УСИЛИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ФОРМЫ ПРИ ПРОТЯЖКЕ МОДЕЛЕЙ

С наибольшей вероятностью разрушению будут подвергаться выступающие части форм и стержней, которые литейщики называют болванами. Следует знать, что на выступающие части формы и стержней действуют четыре силы, показанные на рис. 9.1:

- сила $P_{пр}$ прилипания смеси к оснастке;
- силы трения, возникающие между смесью и оснасткой, особенно в момент их отрыва одной от другой:

$$F_{тр} = kN,$$

где k — коэффициент трения смеси об оснастку; N — сила нормального давления смеси на оснастку, которая вызывается упругой деформацией смеси после снятия уплотняющей нагрузки;

- сила тяжести G выступающих частей форм и стержней:

$$G = m_в g,$$

где $m_в$ — масса выступающих частей; g — ускорение свободного падения;

- сила инерции $P_{ин}$, возникающая при перемещении выступающих частей форм массой $m_в$, особенно при значительных скоростях протяжки:

$$P_{ин} = m_в a,$$

где a — ускорение при перемещении выступающих частей формы или оснастки.

Перечисленные силы могут действовать на выступающие части по двум схемам, различающимся только направлением действия

силы тяжести: в одном случае (рис. 9.1, *а*) сила тяжести способствует отрыву выступающих частей, в другом (рис. 9.1, *б*) сила тяжести не участвует в отрыве. Поэтому у литейщиков существует правило, согласно которому *выступающие части следует располагать в нижней полуформе, которую перед протяжкой модели в любом случае кантуют* (переворачивают на 180°) *для установки стержней и сборки полуформ и, таким образом, устраняют действие одной из сил — силы тяжести выступающих частей.*

Для уменьшения сил трения и прилипания литейщики издавна предусматривают на модельно-стержневой оснастке литейные (формовочные) уклоны.

Также для уменьшения сил прилипания и сил трения на поверхности моделей и стержневых ящиков наносят разделительные покрытия, используя припылы (от слова «пыль») или модельные пудры и модельные смазки. Разделительные составы образуют водонепроницаемый слой, предотвращающий прилипание смесей к оснастке и уменьшающий силы трения.

Издавна в качестве п р и п ы л а применяли ликоподий — светло-желтый порошок, жирный на ощупь, без запаха и вкуса, получаемый из зрелых сухих спор разных видов плауна, произрастающего в хвойных лесах.

В качестве припылов используют также кристаллический графит, цирконовый концентрат, электрокорунд, маршаллит, тальк (для цветного литья).

Деревянные модели для лучшей их протяжки натирают графитом или протирают керосином.

Для уменьшения сил трения и прилипания смеси необходимо обеспечивать высокое качество поверхности вплоть до ее хроми-

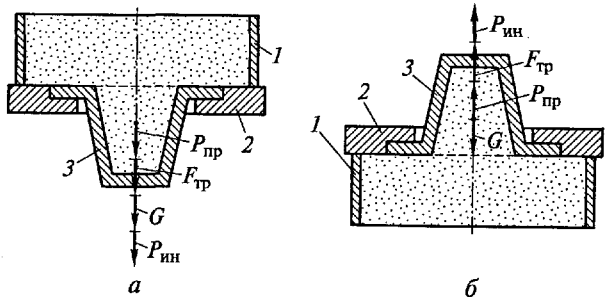


Рис. 9.1. Схемы действующих на выступающие части формы сил:

— протяжка модели, когда сила тяжести отрывает выступающую часть (болван) формы; *б* — протяжка модели, когда сила тяжести не участвует в отрыве выступающей части (болвана) формы; *1* — опока; *2* — модельная плита; *3* — модель; $P_{пр}$ — сила прилипания; $F_{тр}$ — сила трения; G — сила тяжести; $P_{ин}$ — сила инерции

рования. Деревянные модели, как правило, должны окрашиваться. Иногда используют подогрев металлических моделей до температуры 40...50 °С, который необходим при интенсивной работе в массовом производстве во избежание конденсации влаги, когда на формовку подается неостывшая формовочная смесь.

На металлические модели через определенное число операций формовки в обязательном порядке необходимо наносить слой модельной смазки, называемой иногда антифрикционной. Это название не является точным, так как смазка уменьшает не только силы трения, но и силы прилипания. Рекомендуется более предпочтительное ее название — модельная смазка. Хорошо зарекомендовала себя модельная смазка, состоящая из 10 % олеиновой кислоты и 90 % керосина, а также запатентованные составы смазок, разработанных на ряде фирм.

При выполнении литейных уклонов и использовании разделительных покрытий модель перед съемом формы расталкивают вручную ударом киянки по прутку, один конец которого входит в модель, или включением смонтированного на модельной плите вибратора при машинной формовке.

Операция расталкивания снижает точность отливок: ручное расталкивание увеличивает размеры полости формы на 1,0...1,5 мм (зависит от квалификации формовщика), вибратор при машинной формовке — на 0,2...0,5 мм (см. гл. 16).

Большое значение для предотвращения подрывов формы имеют правильное положение опоки (формы) и точность механизма протяжки, так как даже небольшой перекос опоки относительно модели вызывает подрыв формы.

9.2. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ КАЧЕСТВЕННУЮ ПРОТЯЖКУ МОДЕЛЕЙ

Как уже было отмечено, нижние полуформы, в которых предпочтительнее располагать выступающие части (болваны), перед протяжкой модели поворачивают на 180°. Именно поэтому для изготовления верхних и нижних полуформ используют разные машины. Для нижних полуформ («низов») применяют машины с поворотной плитой или перекидным столом, а для верхних («верхов») — без таковых. Приемные столы для полуформ после кантовки, как правило, снабжаются так называемыми «нивелирующими механизмами». Назначение нивелирующего механизма — обеспечить протяжку модели при неправильной тыловой поверхности опоки или неровном подопочном щитке. Если такую опоку опускать на жесткий приемный стол, то она повернется относительно оси. Произойдут перекос формы относительно модели и обрыв формы или образование трещин. Поэтому приемный стол

снабжают преспособлением в виде двух (или более) брусков, опирающихся на пружины или другие податливые опоры. При соприкосновении опоки с брусками они «приспосабливаются» к неправильной тыловой поверхности опок и прилегают к ней. Далее с помощью особого устройства приемные бруски жестко фиксируются в этом положении, и опока при протяжке модели уже остается неподвижной относительно приемного стола. Несмотря на неправильную тыловую поверхность опоки или неровный подопочный щиток, на который она принимается, перекоса формы относительно модели не будет.

В современных формовочных машинах (в том числе для автоматизированных линий) большое значение придают точности протяжки, которая достигается высокой точностью механических систем, а в последние годы благодаря системам с электронным управлением (регулированием). В одной из систем с электронным регулированием, выполненой фирмой «Künkel Wagner» (Германия), не только регулируется собственно движение протяжки (в данном случае движение формы относительно модели), но и контролируется перекос формы относительно модели.

Движение протяжки обеспечивается по заданному графику изменения скоростей протяжки. В частности, собственно съем происходит при замедленной скорости и при этом устраняется инерционная сила, направленная на отрыв болвана. Остаточный ход выполняется с повышенной скоростью.

Перекос формы относительно модели вызывается возможным отклонением от параллельности осей цилиндров протяжки. Достигнуто максимальное отклонение осей, равное 0,06 мм и не зависящее от размера опок. Названное отклонение невозможно получить при применении только механических направляющих систем без использования дополнительных сложных мер. Кроме того, механические направляющие системы изнашиваются в процессе работы и не дают возможность обеспечить названную точность. Электронная система позволяет осуществить регулирование отклонения осей до достижения заданного износа.

Описанная протяжка с электронным управлением позволила изготовить форму для гильзы цилиндров с внутренним диаметром 100 мм и высотой 300 мм. При этом литейные уклоны составили 0,12° для наружного контура и 0,15° для внутреннего контура гильзы. Твердость болвана составляет 85...90 ед., при этом вся гильза располагается в верхней полуформе вопреки правилу, приведенному выше. Форма не должна кантоваться, так как при повороте висячие болваны разрушаются от напряжений изгиба.

Кроме конструктивных решений в формовочных машинах для обеспечения протяжки используют специальную оснастку с элементами, поддерживающими выступающие части формы. На рис. 9.2, *а* представлен модельный комплект, состоящий из про-

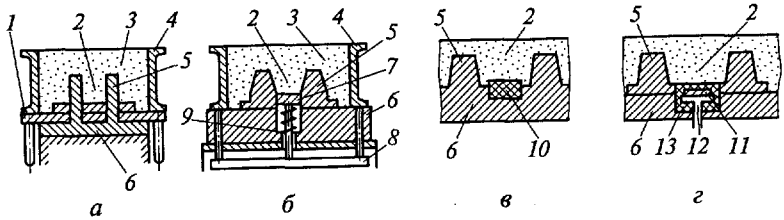


Рис. 9.2. Оснастка для поддержки выступа полуформы при извлечении модели из полуформы:

а — извлечение и отделение формы от оснастки с использованием протяжной плиты; *б* — то же, но с использованием подпружиненного элемента; *в* — то же, но с использованием упругой вставки; *г* — то же, но с использованием упругой вставки из эластичного материала с полостью для сжатого воздуха; *1* — протяжная плита; *2* — выступ полуформы; *3* — полуформа; *4* — опока; *5* — выступающая часть модели; *6* — протяжная модельная плита; *7* — подпружиненная вставка; *8* — поперечина; *9* — пружина; *10* — упругая вставка; *11* — пластина; *12* — полость; *13* — вставка из эластичного материала

тяжной *1* и модельной *6* плит. На протяжной плите по штырям устанавливают опоку *4*. На модельной плите закреплены выступающие части *5* модели, между которыми располагается выступ *2* полуформы. При перемещении модельной плиты *6* относительно протяжной плиты *1* и полуформы *3* выступ опирается на горизонтальную часть модели или протяжной плиты. Такая оснастка дороже обычной, в процессе работы происходит абразивное изнашивание сопрягаемых частей, что уменьшает геометрическую точность отливки.

Известна оснастка (рис. 9.2, *б*), в которой выступ *2* опирается на подпружиненную горизонтальную вставку *7* модельной плиты. Перед засыпкой смеси и уплотнением полуформы вставку опускают вниз, и она сжимает пружину *9*. В оснастке, приведенной на рис. 9.2, *б*, это делает опока *4*, которая через штыри воздействует на поперечину *8*. При подъеме полуформы *3* вставка *7* на начальном отрезке пути прижимается пружиной *9* к выступу *2*, способствуя его отрыву от формы и поддерживая при движении.

Применяют также модельные плиты *6* с упругими вставками *10*, например, из резины или пластмассы (рис. 9.2, *в*). При уплотнении смеси такая вставка сжимается. При извлечении модели вставка *10*, разжимаясь, поддерживает выступ *2*, особенно в момент отрыва. Вертикальный размер выступа над вставкой при таком способе будет изменяться от формы к форме.

Такого недостатка не имеет вставка *13* из эластичного материала с полостью *12* (рис. 9.2, *г*). При извлечении модели в полость впускают сжатый воздух, верхняя часть вставки поднимается и упирается в выступ *2*. Для того чтобы верхний торец вставки был плоским, в полость вставляют пластину *11*.

ГЛАВА 10

СБОРКА ФОРМ

Операции, которые относятся к сборке форм, включают в себя установку и контроль установки стержней в форму, размещение верхней полуформы (опоки) на нижней полуформе (опоке); скрепление полуформ (опок) или нагружение собранных форм.

10.1. УСТАНОВКА СТЕРЖНЕЙ И КОНТРОЛЬ ИХ ПОЛОЖЕНИЯ

Стержни в форме устанавливают вручную или при помощи специальных кондукторов и шаблонов. Для обеспечения точной сборки при изготовлении тонкостенных сложных отливок (блоки цилиндров автомобильных и других двигателей), а также для ускорения сборки форм несколько стержней предварительно собирают в блоки с помощью кондукторов и шаблонов и уже в собранном виде устанавливают в форму. При сборке в кондукторе одинаковые стержни могут прижиматься один к другому, как, например, центровые стержни блока цилиндров. При этом погрешности размеров стержней суммируются, что может привести к браку отливок. Поэтому на расстоянии половины длины блока устанавливают упор, который позволяет уменьшить суммарную погрешность сборки вдвое.

В условиях единичного производства при сборке сложных форм используют контрольное перекрытие формы, если толщину отливки нельзя проверить измерительными инструментами. Перед контрольным перекрытием в форму устанавливают конусы из пастообразной глины, называемые «мушками» (рис. 10.1), которые сдавливаются под действием веса стержня. Путем измерения высоты «мушек» определяют получающуюся толщину стенки отливки. В условиях серийного и индивидуального производства при сборке стержней используют жеребейки (рис. 10.2). Высота жеребеек соответствует толщине отливки. Сплав для изготовления жеребеек подбирают в

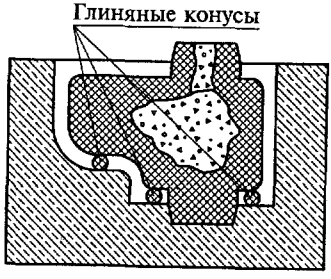


Рис. 10.1. Проверка толщины тела по глиняным конусам («мушкам»)

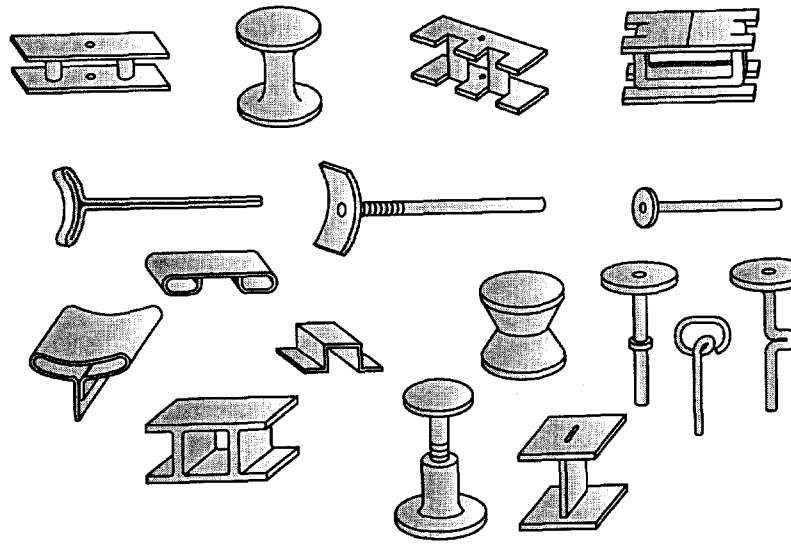


Рис. 10.2. Конструкции жеребеек

соответствии с заливаемым в форму сплавом. В качестве подготовки жеребейки подвергают дробеструйной обработке, иногда лудят, меднят или пассивируют. Для отливок, к которым предъявляются требования к герметичности, применение жеребеек нежелательно. Кроме того, жеребейки не применяются в массовом производстве, поскольку резко снижается производительность работы литейных конвейеров. В некоторых случаях жеребейка заформовывается в формовочную смесь. На рис. 10.3, *а* для примера приведена жеребейка *3* для отливки *1* патрубка. Жеребейка *3* необходима, чтобы стержень *2* был устойчивым и не поворачивал-

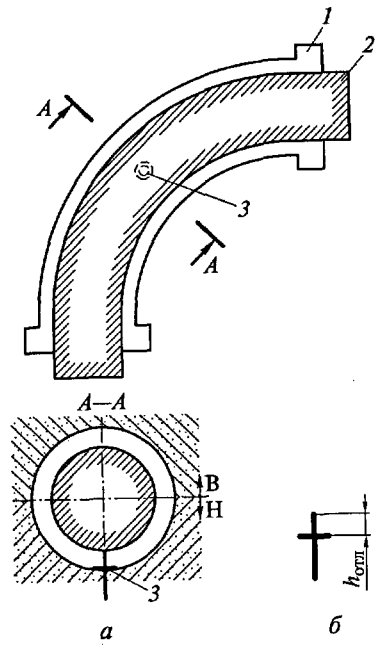
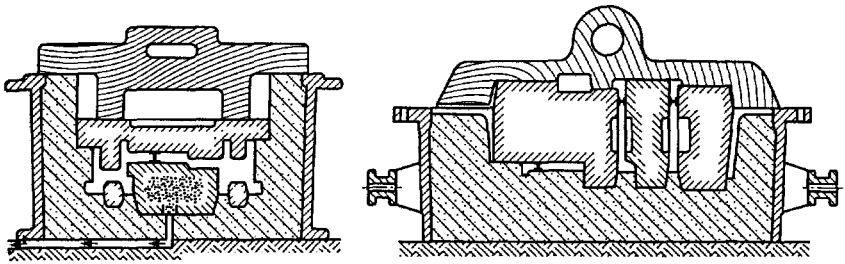


Рис. 10.3. Фиксация стержня отливки патрубка жеребейкой:

а — стержень, установленный в форму с использованием жеребейки; *б* — схематическое изображение жеребейки; *1* — отливка; *2* — стержень; *3* — жеребейка; $h_{отл}$ — толщина стенки отливки; В, Н — верх и низ формы



а *б*

Рис. 10.4. Схема проверки положения стержней шаблонами:
а — ниже разъема; *б* — выше разъема

ся под действием собственного веса. При формовке жеребейка устанавливается в модель низа, а после выема модели остается в форме и служит опорой для стержня *2*.

Контроль положения стержня в форме выполняют с использованием шаблонов. Схема проверки положения стержней в горизонтальной плоскости по шаблонам показана на рис. 10.4.

Шаблоны могут быть выполнены для контроля одного (рис. 10.4, *а*) или сразу нескольких (рис. 10.4, *б*) стержней.

В условиях массового производства стержни устанавливаются в опочную форму вручную, а если механизированно, то с помощью кондукторов или стержнеукладчиков в зоне конвейера, предназначенного для установки стержней. На линиях безопочной формовки с вертикальной плоскостью разъема (АФЛ типа «DISA») стержни устанавливаются только с помощью стержнеукладчика. Вручную стержни устанавливают в «маску» рамы стержнеукладчика («маска» — выполняемый из пластмассы отпечаток модельной плиты с моделями; маску монтируют на раме стержнеукладчика). Стержень в «маске» удерживается за счет разрежения. Рама со стержнями входит в пространство между отпечатком прессовой плиты и машиной (автоматом), затем стержнеукладчик устанавливает стержни знаками в отпечаток прессовой плиты, разрежение снимается, рама возвращается на место, а стержень удерживается в форме фиксаторами, поверхности которого выполнены с натягом (см. подразд. 18.3.2).

10.2. СБОРКА ПОЛУФОРМ

В поточно-механизированном производстве сборка форм выполняется на движущемся литейном конвейере или на промежуточном рольганге с последующим сталкиванием собранных форм на литейный конвейер.

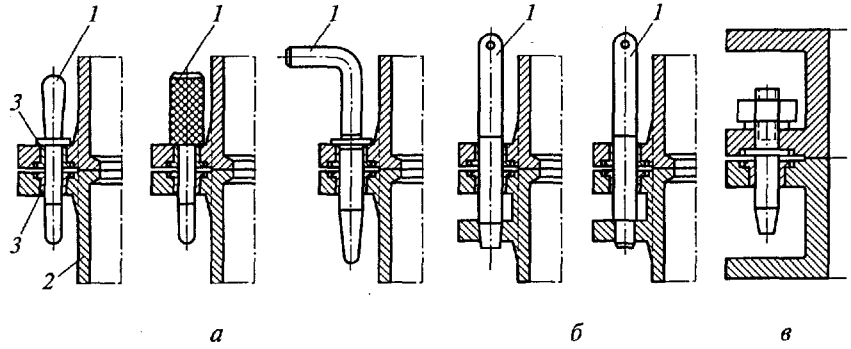


Рис. 10.5. Примеры спаривания опок при помощи штырей:
а — опоки небольшого размера; *б* — средние и крупные опоки; *в* — опоки для АФЛ; *1* — контрольный штырь; *2* — опока; *3* — втулка

При сборке используют сборочные штыри, длина которых должна быть больше высоты стержней, выступающих над разъемом. Необходимо следить, чтобы полуформа опускалась строго горизонтально, а цилиндрическая часть штырей входила в контрольное отверстие нижней опоки. При ручной формовке применяется «сборка штырем» (рис. 10.5, *а*), а в поточно-механизированном производстве — «сборка на штырь» (рис. 10.5, *б*). Штыри *1* вставляются во втулки *3* верхней или нижней опоки *2*, и рабочий с помощью электротали накрывает нижнюю полуформу верхней по штырям. На автоматизированных линиях сборка выполняется специальным механизмом — сборщиком в автоматическом режиме по штырям, которые жестко закреплены в верхней опоке (рис. 10.5, *в*).

10.3. СКРЕПЛЕНИЕ ПОЛУФОРМ

Во время заполнения формы возникает подъемная сила (см. гл. 15), которая стремится поднять верхнюю полуформу, т.е. не исключается возможность ухода металла по плоскости разъема. Для предотвращения этого верхнюю и нижнюю опоки скрепляют скобами, болтами с гайками, штырем с клином, либо на собранную форму накладывают груз. На рис. 10.6 приведены способы крепления опок. В специальных приливах (рис. 10.6, *а*, *б*), имеющихся на верхней и нижней опоках *3* и расположенных один над другим, просверлены отверстия, в которые проставляются болты *1*. Болты имеют или прорезь, в которую забивается клин *2*, или резьбу, на которую наворачивается гайка *4*. В поточно-механизированном производстве чаще всего опоки скрепляют скобами *5*, которые надевают на специальные приливы *6* (рис. 10.6, *в*), а затем ударом молотка загоняют до натяга. На автоматизированных формовоч-

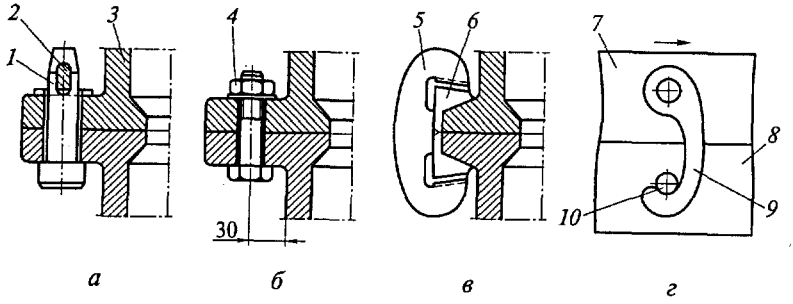


Рис. 10.6. Способы скрепления опок:

а — болтом и клином; *б* — болтом с гайкой; *в* — скобой; *г* — кривошип на шарнире; *1* — болт; *2* — клин; *3* — опока; *4* — гайка; *5, 9* — скобы; *6* — прилив на опоке; *7* — верхняя опока; *8* — нижняя опока; *10* — штырь; стрелкой показано направление движения опок

ных линиях крепление полуформ выполняют также скобами или накладывают груз.

Поворачивающаяся вокруг оси скоба *9* крепится к верхней опоке *7* (рис. 10.6, *г*). Скоба на верхней опоке наезжает на упор, который поворачивает скобу и с натягом соединяет со штырем *10*, закрепленным в нижней опоке *8*.

Грузы опускаются на форму перед заливкой, двигаясь по монорельсу, как по копиру, а после охлаждения отливок грузы опять поднимаются. На автоматических линиях используют также челночные машины, которые устанавливают груз на форму перед заливкой, а затем забирают его с противоположной стороны конвейера. Челночная машина работает в цикле автоматичекой линии: за время цикла машина должна забрать груз и установить его. Необходимое количество грузов определяется числом форм в пределах этой ветви (расчет груза см. в подразд. 15.2).

ГЛАВА 11

ЗАЛИВКА ФОРМ

Заливка является одной из операций изготовления отливок, назначение которой заключается в заполнении полости формы расплавленным металлом. При заливке, а также при проведении других технологических операций может возникать брак отливок. Важным контролируемым параметром операции является температура заливки. «Холодный» металл плохо заполняет полость формы и в отливке образуются дефекты: недоливы, неспаи, неслитины. При этом может быть также затруднен выход газовых пузырей из отливки, что способствует образованию газовых раковин.

В зависимости от конфигурации и толщины стенки чугунных отливок принимают следующие значения температуры заливки, °С: для толстостенного машинного литья — 1250...1270, для среднего машиностроительного литья — 1300...1320, для тонкостенного литья — 1350...1400.

Качество литых деталей зависит также от техники заливки. Поэтому с целью устранения возможности появления брака необходимо соблюдать следующие правила:

- при заливке чаша должна быть заполненной («держи чашу полной»), следует предотвращать падение уровня металла в чаше, которое может привести к завихрениям расплава и захвату воздуха в полость формы;
- высота ковша над контрладом опоки должна быть минимальной: для небольших форм не более 150 мм, а для больших форм не более 200...250 мм. При бóльших высотах кинетическая энергия струи металла, пробивая зеркало в чаше, будет оказывать влияние на расчетный расход литниковой системы;
- необходимо поддерживать носок ковша в исправном состоянии;
- емкость ковша подбирать такой, чтобы она несколько превышала емкость формы (или нескольких форм);
- при заливке металла в форму следить, чтобы струя была непрерывной.

11.1. РАЗЛИВОЧНЫЕ КОВШИ

Ковши для разливки металла по формам представляют собой сосуды, изготовленные из листовой стали, выложенные изнутри

огнеупорной футеровкой. В качестве материала для футеровки применяют шамотный кирпич и смесь огнеупорной глины с песком.

Футеровка ковша, помимо сушки, должна быть подвергнута прокаливанию нагревом до температуры 300...700 °С, как правило, газом. Для заливки мелких отливок пользуются ручными открытыми ковшами, а для средних и крупных отливок используют открытые и закрытые ковши, закрепленные на монорельсовых путях или перемещаемые краном. При заливке через носок открытых ковшей весьма трудно предотвратить попадание шлака в формы.

Разные типы заливочных ковшей, которые используются при изготовлении чугунных и стальных отливок, приведены на рис. 11.1.

Обычный ковш с носком (рис. 11.1, *а*) заполняют металлом, как правило, из больших раздаточных чайниковых, стопорных ковшей или чайниковых копильников. Для чугунных отливок обычные ковши не применяют из-за сложности улавливания шлака.

В чайниковых ковшах (рис. 11.1, *б*) теплоотдача металла невелика, так как поверхность во время разливки находится под защитой шлака *3*, который при разливке в форму не попадает.

Барабанные ковши (рис. 11.1, *в*) лучше, чем обычные и чайниковые, сохраняют температуру металла и совершенно без-

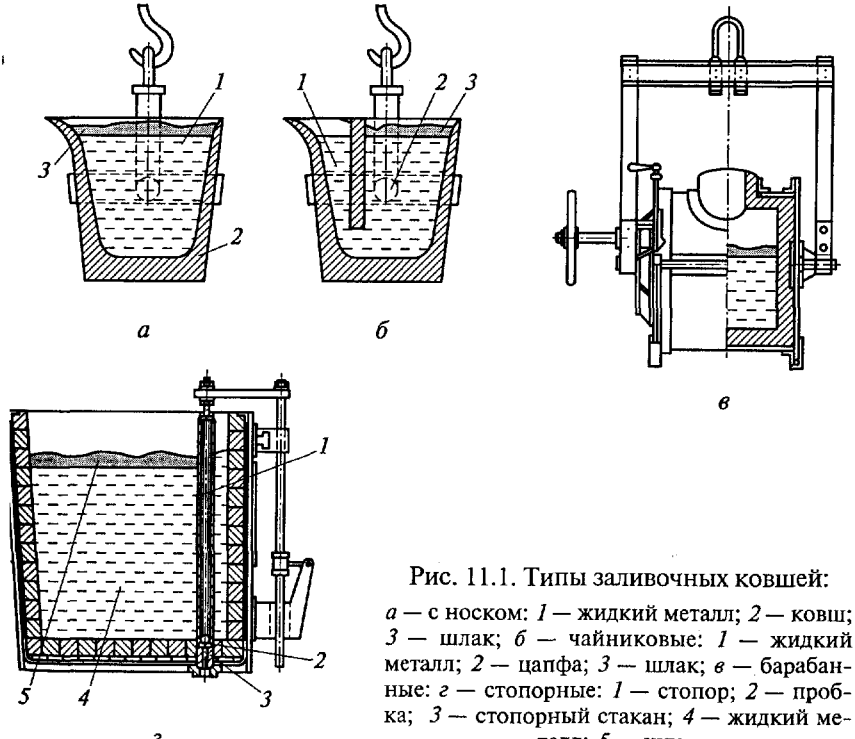


Рис. 11.1. Типы заливочных ковшей:

а — с носком: *1* — жидкий металл; *2* — ковш; *3* — шлак; *б* — чайниковые: *1* — жидкий металл; *2* — цапфа; *3* — шлак; *в* — барабанные: *г* — стопорные: *1* — стопор; *2* — пробка; *3* — стопорный стакан; *4* — жидкий металл; *5* — шлак

Таблица 11.1. **Взаимосвязь средней скорости заливки, типа и емкости ковша**

Тип ковша	Емкость ковша, кг	Скорость заливки, кг/с, при повороте ковша		
		медленном	более быстром	быстром
Ручной	6...16	0,5...2,0	2,0...3,0	3,0...4,0
	25...60	1,0...3,0	3,0...5,0	5,0...7,0
Моно-рельсовый	100...250	1,0...4,0	4,0...6,0	6,0...8,0
	400...800	2,0...5,0	5,0...7,5	7,5...10,0
Крановый	1000...5000	5,0...10,0	10,0...20,0	20,0...30,0
	5000...20 000	10,0...25,0	25,0...45,0	45,0...100,0

опасны в работе, так как их центр тяжести при повороте не перемещается в горизонтальной плоскости. Недостатком этих ковшей является затрудненный ремонт футеровки и неудобства при очистке от шлака. Поэтому в барабанных ковшах иногда устраивают слив металла по типу чайниковых ковшей — получается как бы чайниковый барабанный ковш. Емкость барабанных ковшей составляет 2500...5000 кг.

Стопорные ковши (рис. 11.1, *г*) при заливке форм не наклоняются, так как жидкий металл *4* из них выливается через отверстие в дне, а шлак *5* скапливается наверху. Донное отверстие образуется специальным магнезитовым стаканом *3*, который при работе закрывается пробкой *2*, закрепленной на стопоре *1*. Заливка металла из стопорных ковшей происходит при переменном расходе вследствие уменьшения напора. В некоторых случаях постоянство расхода обеспечивается путем дросселирования. Однако при этом повышается износ стакана и пробки. Стопорные ковши используются главным образом при заливке крупных стальных отливок.

Скорость заливки металла из ковшей зависит от пропускной способности и типа литниковых систем заливаемых форм. Для мелкого и среднего чугунного литья скорость заливки изменяется в пределах 0,5...6,0 кг/с, для крупного литья она достигает 10...30 кг/с. Средняя скорость заливки определяется металлоемкостью[1] формы и временем заливки (табл. 11.1).

11.2. РАСЧЕТ ЕМКОСТИ КОВША

Масса металла в ковше определяется суммарной металлоемкостью форм, заливаемых из одного ковша, с учетом запаса для компенсации возможных переливов и погрешностей формовки

[1] Металлоемкость — общая масса металла, залитая в форму.

(3...5 % объема ковша). Для массового производства масса металла уточняется опытным путем с целью уменьшения сливов и предотвращения недоливов форм. Емкость заливаемого металлом ковша $G_к$, кг, рассчитывают по уравнению

$$G_к = (\Delta t_{ТУ}/\Delta t_i)\, m_{ф_i}, \qquad (11.1)$$

где $\Delta t_{ТУ}$ — допустимый интервал температур заливки по ТУ, °С; Δt_i — снижение температуры при заливке одной формы, °С; $m_{ф_i}$ — металлоемкость формы, кг.

Пример расчета. Допустим, что $\Delta t_{ТУ}$ = 1400 – 1340 °С = 60 °С, а снижение температуры при заливке формы металлоемкостью $m_{ф_i}$ = 50 кг составляет 20 °С. Тогда по приведенному выше уравнению емкость ковша составит $G_к = (60/20) \cdot 50 = 150$ кг. Эту величину нужно увеличить на 5 % для компенсации всплесков и разлива металла. Окончательно получим 157,5 кг.

Рассчитанная емкость ковша (157,5 кг) является максимально допустимой. Фактическая емкость ковша выбирается несколько меньшей, чем по расчету, с учетом возможных перерывов в заливке и времени поворота ковшей, особенно при заливке последних доз.

11.3. РАСЧЕТ ЧИСЛА КОВШЕЙ ИЛИ ЗАЛИВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Для конвейерного производства кроме емкости ковша необходимо также выполнять расчет числа ковшей или заливочных устройств, которые должны обеспечить заливку форм на непрерывно движущемся конвейере.

В первую очередь определяют полное время $\tau_ф$, затрачиваемое на заливку одной литейной формы, по уравнению

$$\tau_ф = \tau_{зал} + 60l/v_в + \tau_{п\text{-}з},$$

где $\tau_{зал}$ — время заливки формы, с; $60l/v_в$ — время, необходимое на возврат ковша в исходное положение для заливки следующей формы, с; l — расстояние между чашами двух форм, м; $v_в$ — скорость возврата тележки с ковшом, м/мин; $\tau_{п\text{-}з}$ — время подготовительно-заключительное (включающее опускание и поднятие ковша при заливке), принимается равным 10...1 с.

Пример расчета. Производительность автоматической формовочной линии (АФЛ) составляет 240 форм/ч. Для определения скорости возврата тележки с ковшом необходимо определить скорость конвейера $v_к$, принимая следующие допущения. Определим производительность АФЛ в минуту — 240/60 = 4 формы/мин. Если расстояние l между чашами соседних форм для АФЛ с опоками размером 700 × 800 мм принять равным 1 м, то скорость конвейера составит $v_к$ = 4 м/мин.

Чтобы осуществить возврат тележки с ковшом в исходное положение, скорость возврата тележки $v_в$ должна превышать скорость конвейера $v_к$, т.е. $v_в = kv_к$. Если принять, что коэффициент $k = 1{,}5$, то $v_в = 1{,}5v_к = 1{,}5 \cdot 4 = 6$ м/мин.

Примем $\tau_{зал} = 15$ с, $\tau_{п\text{-}з} = 10$ с и определим по приведенному в тексте уравнению время на заливку одной формы, с:

$$\tau_ф = 15 + 60 \cdot 1/6 + 10 = 35.$$

Время цикла линии исходя из производительности 240 форм/ч равно $\tau_ц = 3600/240 = 15$ с. Следовательно, для обеспечения производительности линии необходимое число заливочных ковшей (устройств) должно составить $\tau_ф/\tau_ц = 35/15 = 2{,}33$. Округляя это значение в сторону больших чисел, получим, что заданную производительность АФЛ обеспечат три ковша (или устройства).

11.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАЛИВКИ

На АФЛ используются автоматизированные заливочные устройства, позволяющие повысить стабильность заливки форм. Рассмотрим некоторые их них.

На рис. 11.2 показано автоматизированное заливочное устройство, которое используется для АФЛ с непрерывно движущимся конвейером.

Заливочное устройство размещается на тележке, которая перемещается по рельсам вдоль заливочной ветви литейного конвейера. На тележке *5* смонтирован приемник для разливочных ковшей (при одном или двух сменных ковшах в приемнике может быть предусмотрен подогрев жидкого металла в индукторе, который также размещается в приемнике). В приемник устанавливают сменный ковш *1*, затем тележка заливочного устройства жестко скрепляется сцепкой *4* с тележкой *3* литейного конвейера, на которой установлена литейная форма *2*. Наклон ковша осуществляется с помощью гидропривода *6*. Управление заливкой производится опе-

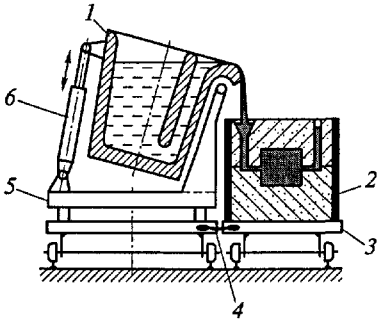


Рис. 11.2. Схема автоматизированного заливочного устройства:

1 — сменный ковш; *2* — литейная форма; *3* — тележка литейного конвейера; *4* — сцепка; *5* — тележка со сменными ковшами; *6* — гидропривод; по стрелке — опрокидывание ковша и возврат в исходное положение

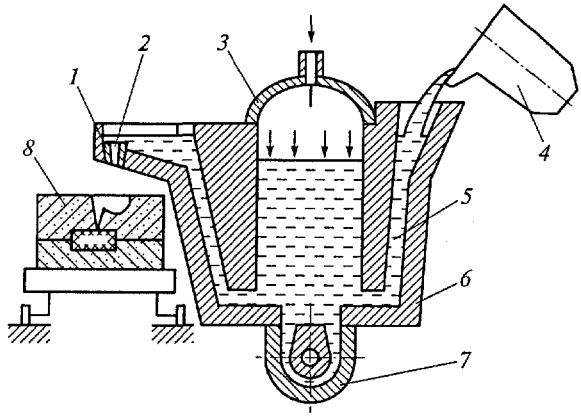


Рис. 11.3. Схема заливочной установки модели «Пресспоур»:

1 — калиброванное отверстие в керамической втулке; *2* — канал выдачи металла; *3* — крышка раздаточной печи; *4* — разливочный ковш; *5* — канал подачи металла в миксер; *6* — раздаточная печь; *7* — индуктор; *8* — литейная форма; прямые стрелки — избыточное давление воздуха над зеркалом металла

ратором. После заливки формы тележка с ковшом возвращается в исходное положение для заливки следующей формы.

На рис. 11.3 показано заливочное устройство модели «Пресспоур», которое используется для АФЛ с прерывисто движущимся конвейером. Заливочное устройство установлено стационарно и представляет собой раздаточную печь *6* с подогревом металла индуктором *7*. Раздаточная печь имеет приемный канал *5*, по которому жидкий металл по мере необходимости подается в раздаточную печь из разливочного ковша *4*. Зеркало металла в печи поддерживается на уровне, при котором металл не выливается из отверстия. При заливке калиброванное отверстие *1* носка заливочного устройства совпадает с воронкой (чашей) литейной формы *8*, в пространстве печи создается давление над зеркалом металла. Путем подачи воздуха (или инертного газа) через трубу в крышке *3* уровень металла в канале *2* поднимается и производится заливка. В конце заливки давление воздуха снимается и заливка прекращается. Заливка может производиться в автоматическом режиме по программе или с управлением оператором.

На рис. 11.4 показана заливочная установка «Поуромат», которая также используется на АФЛ с циклической работой конвейера. Заливочное устройство расположено стационарно над готовыми для заливки безопочными формами с вертикальной плоскостью разъема и представляет собой раздаточную печь *4* с подогревом металла индуктором *6*. Металл периодически подается в раздаточную печь через приемное окно *2*, далее для раздачи металла необходимо поднять стопор *1* с помощью подъемного устройства *9*.

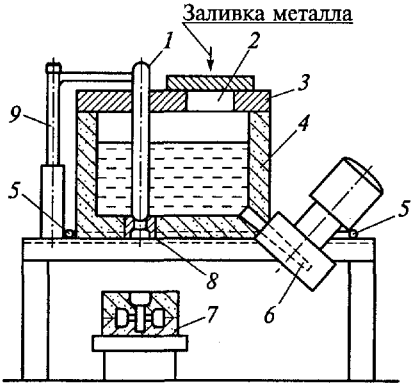


Рис. 11.4. Схема заливочной установки «Поуромат»:

1 — стопор; *2* — окно для заливки жидкого металла; *3* — крышка печи; *4* — раздаточная печь; *5* — тележка для перемещения ЗУ перпендикулярно литейному конвейеру; *6* — индуктор; *7* — литейная форма; *8* — керамическая втулка; *9* — механизм открывания стопора

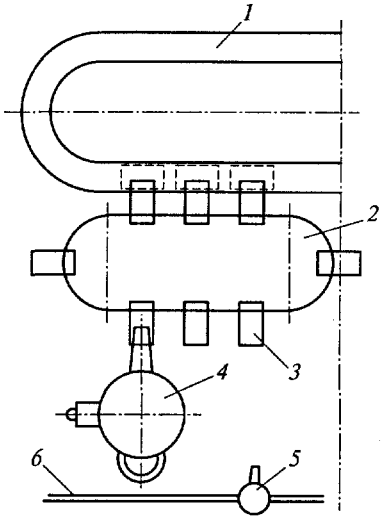


Рис. 11.5. Схема автоматизированного заливочного устройства «Ротопоур-2»:

1 — литейный конвейер; *2* — горизонтально-замкнутая трасса заливочного устройства; *3* — заливочный ковш; *4* — миксер-дозатор; *5* — раздаточный ковш; *6* — монорельс

При этом металл через керамическую втулку *8* поступает в воронку (чашу) литейной формы *7*. По окончании заливки стопор опускают, перекрывая выпускное отверстие раздаточной печи.

Фирмой «Робертс Корпорейшен» разработана конструкция автоматизированного заливочного устройства (АЗУ) «Ротопоур-2».

Конструктивная особенность АЗУ «Ротопоур-2» заключается в том, что тележки с ковшами установлены на колее специальной горизонтально замкнутой трассы, одна ветвь которой параллельна ветви литейного конвейера АФЛ (рис. 11.5). Литейный конвейер *1* может работать в пульсирующем и непрерывном режимах. Формы могут быть одинаковыми и разными по металлоемкости, в зависимости от номенклатуры отливок и их массы. Число тележек для разливочных ковшей на горизонтально замкнутой трассе *2* может меняться в зависимости от требований и производительности АФЛ.

ГЛАВА 12
ВЫБИВКА ОТЛИВОК ИЗ ФОРМ

Ранее, в гл. 5, были рассмотрены методы упрочнения литейных форм и стержней перед заливкой в них металла. После охлаждения отливок до заданной температуры, называемой «температурой выбивки», необходимо форму и стержни разрушить, чтобы отделить отливку от формовочной и стержневой смесей. Процесс отделения называют «выбивкой отливок», иногда эту операцию называют «выбивкой форм и стержней».

Рассматриваемая глава посвящена определению температуры и времени нахождения отливок в форме и описанию методов их выбивки.

12.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ ВЫБИВКИ ОТЛИВОК И ВРЕМЕНИ ИХ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОСЛЕ ВЫБИВКИ

Время охлаждения отливки в литейной форме до выбивки является технологическим параметром, который должен быть использован при проектировании технологического процесса и литейного цеха в целом, так как определяет длительность цикла изготовления отливки и производительность цеха.

Очевидно, что время охлаждения зависит от назначенной температуры выбивки. При этом имеется в виду температура наиболее горячей части отливки.

В текущем производстве при освоении новой отливки для назначения температуры выбивки обычно используют правило аналогов, т.е. подбирают из производственных данных отливку, похожую на новую, и используют ту же температуру, а точнее то же время охлаждения до выбивки.

Для учебных целей, а иногда и для проверки правильности производственного опыта анализируют рекомендации по температуре выбивки. В рекомендациях температура выбивки, как правило, связывается со сложностью отливки и с тем, как отливка освобождается от формовочной смеси и стержня при выбивке. Простые бесстержневые отливки, которые практически полностью освобождаются от формовочной смеси, рекомендуется выбивать при максимально возможной температуре, на 200... 300 °С меньшей температуры солидуса. При этом скорость охлаждения на воздухе уве-

личивается, однако к возникновению дополнительных напряжений в отливке, освобожденной от формовочной смеси и стержней, ранняя выбивка не приводит, так как при переносе отливки из одной охлаждающей среды в другую перепады температур в объеме отливки не изменяются. Единственное требование при этом сводится к тому, чтобы сохранить отливки неповрежденными.

В отливках, которые неодинаково освобождаются от формовочной смеси и в них остаются стержни, значительно возрастают временные термические напряжения, так как оголенные участки отливок охлаждаются быстрее покрытых формовочной смесью, а стенки, образуемые стержнями, охлаждаются значительно медленнее. Поэтому такие отливки следует выбивать при низкой температуре, чугунные и стальные отливки — при температуре 200... 300 °С. Как правило, такие отливки являются массивными, крупными, и их длительное охлаждение в форме до низких температур может протекать несколько недель.

По данным П. Г. Новикова и В. Г. Грузина для отливок из железных сплавов рекомендуются следующие значения максимально возможной температуры выбивки, °С:

Неответственные детали простой конфигурации ..... 600 ... 700
Небольшие детали простой конфигурации ..... 400 ... 500
Ответственные крупные отливки высокой сложности ... 200 ... 300

Для чугунных отливок рекомендации по продолжительности охлаждения до выбивки приведены в табл. 12.1.

Аналогичные рекомендации можно найти по времени выдержки отливок из углеродистой стали (табл. 12.2).

Учитывая неопределенность условий освобождения отливки от смеси, оптимальную температуру выбивки в настоящее время рассчитать не представляется возможным, поэтому нужно руководствоваться рекомендациями и производственным опытом. Расчет

Таблица 12.1. **Продолжительность охлаждения отливок из чугуна до выбивки их из форм**

Масса отливки, кг	Продолжительность охлаждения, ч	
	на конвейере или рольганге	на полу цеха
До 10	До 0,15	0,5 ... 1,0
Свыше 10 до 30	0,15 ... 0,40	0,8 ... 2,0
Свыше 30 до 50	0,25 ... 0,50	1,0 ... 3,0
Свыше 50 до 100	0,30 ... 0,60	1,5 ... 2,0
Свыше 100 до 250	0,50 ... 1,00	2,5 ... 6,0
Свыше 250 до 500	0,80 ... 2,00	3,0 ... 8,0
Свыше 500 до 1000	1,50 ... 3,00	4,0 ... 10,0
Свыше 5000 до 10 000	—	55,0 ... 130,0
Свыше 10 000 до 50 000	—	80,0 ... 360,0
Свыше 50 000 до 100 000	—	160,0 ... 430,0

Таблица 12.2. **Продолжительность охлаждения отливок из углеродистой стали до выбивки их из форм**

Размер отливок в свету, мм	Максимальная масса отливки, кг	Температура выбивки отливок из формы, °С	Продолжительность охлаждения отливки в форме, ч, при толщине стенки отливки, мм		
			до 20	свыше 20 до 50	свыше 50
500×400 (без опок)	До 10	700...600	0,17...0,27	0,35...0,50	0,45...0,70
500×400	До 20	700...600	0,23...0,35	0,42...0,63	0,57...0,85
800×700	100	700...600	0,50...0,75	0,50...1,40	1,20...1,80
1000×800	150	700...600	0,65...0,90	1,20...1,80	1,40...2,25
1200×1000	250	650...550	1,00...1,60	1,90...2,90	2,40...3,70
1400×1000	500	650...550	1,40...2,20	2,40...4,00	3,40...5,30
1600×1200	1000	600...550	—	4,60...6,00	6,20...7,50
2000×1600	1000	600...550	—	4,60...6,00	6,20...7,50
2500×1600	1500	600...550	—	5,40...7,00	7,20...8,80
2500×2000	2000	550...500	—	8,00...11,00	10,00...13,00

продолжительности охлаждения отливки в форме до назначенной температуры выбивки — трудоемкая и дорогостоящая операция, основанная на использовании мощных компьютеров и программных продуктов. Однако для получения ориентировочных прикидочных значений времени выбивки можно воспользоваться уравнением для отливки плиты, приведенным в учебнике Г. Ф. Баландина [3]:

$$\tau_{\text{выб}} = 0,75\left(\frac{R}{b_2}\right)^2\left[\frac{c_1'\rho_1'(T_{\text{зал}} - T_{\text{л}})}{(T_{\text{л}} - T_{\text{ф}})} + \frac{S_{\text{эф}}\rho_1}{T_{\text{с}} - T_{\text{ф}}} + \frac{c_1\rho_1(T_{\text{с}} - T_{\text{выб}})}{(T_{\text{выб}} - T_{\text{ф}})}\right]^2,$$

где R — приведенный размер отливки, м; b_2 — коэффициент теплоаккумуляции формы, Вт·с$^{1/2}$/(м^2·К); c_1', c_1, ρ_1', ρ_1 — соответственно теплоемкости, Дж/(кг·К), и плотности, кг/м^3, жидкого и твердого сплавов; $T_{\text{зал}}$, $T_{\text{л}}$, $T_{\text{с}}$, $T_{\text{выб}}$, $T_{\text{ф}}$ — соответственно температуры заливки, ликвидуса, солидуса, выбивки, формы, К; $S_{\text{эф}}$ — эффективная теплота кристаллизации сплава, Дж/кг.

Если имеются аналоги или рекомендации по определению времени выбивки, то необходимо пользоваться ими. Для приближенных оценок продолжительности охлаждения чугунных станочных отливок до температуры 200 °С Б. В. Кнорре предложил использовать эмпирическое уравнение

$$\tau = a\sqrt{m},$$

где τ — продолжительность охлаждения, ч; a — коэффициент, зависящий от толщины стенки и сложности (класса) и определяемый по табл. 12.3; m — масса отливки, т.

К классу 1 относятся отливки типа плит, к классу 2 — отливки со стержнями, охлаждающимися преимущественно с одной сто-

Таблица 12.3. **Значения коэффициента *a** при определении продолжительности охлаждения отливок**

Толщина стенки, мм	Класс отливки		
	1	2	3
Свыше 20 до 30	15	20	27
Свыше 31 до 50	20	27	36
Свыше 51 до 80	27	36	47
Свыше 81 до 125	36	47	60
Свыше 126 до 200	47	60	75
Свыше 200	60	75	92

* Эмпирический (основанный на опыте) коэффициент в уравнении Б. В. Кнорре.

роны, к классу 3 — сложные отливки с большим числом стержней.

Некоторая неопределенность рекомендаций и их противоречивость связаны с тем, что приведенные данные получены для разных конкретных условий и зависят от номенклатуры отливок.

По требованиям техники безопасности на финишных операциях (например, при выбивке стержней, зачистке) температура отливки не должна превышать 50 °С. Поэтому выбитая отливка должна назначенное время охлаждаться на воздухе, находясь на участках выбивки стержней (крупные отливки) или в охладительных галереях на подвесных конвейерах (мелкие массовые отливки).

Рассчитать продолжительность охлаждения выбитой отливки также невозможно, поэтому ее определяют (назначают) по имеющимся рекомендациям или исходя из опыта. Так, в табл. 12.4 приведены значения продолжительности охлаждения выбитой чугунной отливки в зависимости от массы, температуры выбивки и наличия стержней.

Таблица 12.4. **Продолжительность охлаждения выбитой отливки**

Масса отливки, кг	Температура отливки при выбивке, °С	Продолжительность охлаждения до 50 °С, ч, отливки	
		без стержней	со стержнями
До 8	600	1,0	2,5
Свыше 8 до 20	600	1,2	3,0
Свыше 20 до 50	600	1,5	4,0
Свыше 50 до 100	600	2,0	5,0
Свыше 100 до 250	500	3,0	7,0
Свыше 250 до 500	500	4,0	8,0
Свыше 500 до 1000	400...500	—	12,0...18,0
Свыше 1000 до 2000	300...400	—	18,0...24,0
Свыше 2000 до 5000	300...400	—	24,0...36,0

12.2. ЭТАПЫ ВЫБИВКИ ОТЛИВОК ИЗ ФОРМ

Процесс выбивки отливок из литейных форм, который называют также «выбивкой литейных форм», сопровождается большим выделением пыли, газов и теплоты. В современных литейных цехах операции выбивки отливок и стержней из них механизируют, а по возможности и автоматизируют, т.е. используют установки, работающие без непосредственного участия рабочих. Процесс выбивки отливок из сырых песчано-глинистых форм можно рассматривать состоящим из двух этапов [1]. На первом этапе производится извлечение отливок вместе со смесью из опок. На втором этапе отливку отделяют от смеси. Отделенную отработанную смесь направляют на переработку, а отливки — на финишные операции. При выбивке отливок безопочных форм первый этап отсутствует.

Существуют пять методов разрушения опочных форм и удаления отливок из них: вибрационный, инерционный, прошивание механическое, прошивание с помощью воздуха, вакуумное прошивание.

12.3. ВИБРАЦИОННАЯ ВЫБИВКА

При вибрационной выбивке отливок из литейных форм тем или иным способом сообщают колебательные движения стенкам опоки и ее крестовинам, что приводит к разрушению формы и выбивке отливок.

К устройствам для вибрационной выбивки относятся подвесной вибратор, который подвешивается на стенку опоки, и вибрационная траверса. Подвесной вибратор приводит в колебание стенку опоки, это колебание разрушает силовые связи, в основном, в пристенных слоях набивки, так что смесь вместе с отливкой вываливается из опоки. Вибраторы применяют для разных по толщине стенок опок и разных форм. Существуют полученные по практическим данным рекомендации для подбора параметров вибратора в зависимости от размеров опок и характера выбиваемой формы.

Вибрационная траверса состоит из коромысла и двух подвесок с крюками. В подвесках расположены вибраторы. Подвески могут перемещаться относительно коромысла в зависимости от размера опоки, для чего на коромысле имеются выемки, в которых фиксируются скобы подвесок. При выбивке траверсу подвешивают на крюк подъемника или крана. После подъема формы над полом включают вибраторы, что и приводит к разрушению связи между опокой и набивкой. Вибраторы работают от цеховой сети сжатого воздуха.

Затраты энергии при вибрационном методе выбивки в 8—9 раз больше, чем при выбивке другими методами. Поэтому в настоящее время этот метод используют редко, в малых литейных цехах, где применяются опоки разных размеров.

12.4. ИНЕРЦИОННАЯ ВЫБИВКА

Инерционная выбивка отливок осуществляется на решетках или рамах, которые приводятся в колебательное движение с помощью привода.

В решетке установлены пересекающиеся или параллельные ребра. Зазоры между ребрами или размеры ячеек решетки меньше размеров отливки, поэтому кроме разрушения набивки решетка отделяет отливку от смеси. Смесь проваливается сквозь решетку, а отливка остается на ее полотне.

В раме имеется окно, размеры которого равны размерам опоки в свету, что обеспечивает беспрепятственное выпадение разрушающейся набивки вместе с отливкой из опок. Если на одной и той же решетке можно выбивать разные по размерам формы, размер которых не превышает размер решетки в плане, то на раме можно выбивать формы одного определенного размера. Поскольку ребра решетки являются дополнительными опорами для набивки, время, затрачиваемое на выбивку формы на решетке, в несколько раз больше времени выбивки той же формы на раме. Поэтому рамы применяют в выбивных устройствах, работающих на литейных конвейерных линиях.

Решетки и рамы различаются по типу привода. Для них применяются эксцентриковый и инерционный приводы.

Эксцентриковый и инерционный приводы являются приводами механического типа. Решетка с эксцентриковым приводом опирается краями полотна на резиновые или пружинные опоры (рис. 12.1, *а*). На продольных крайних брусьях полотна решетки, в их середине закреплены две подшипниковые опоры, в которых находятся эксцентриковые шейки приводного вала. Сам вал закреплен в опорах, установленных на станине. Эксцентриситет вала и опорных шеек 2...3 мм. При работе середина решетки перемещается по окружности, центр которой совпадает с осью вращения вала привода. При этом полотно решетки перемещается по закону синусоиды. Инерционные силы, возникающие в системе форма—решетка при работе, передаются через вал на его опоры, создавая тяжелые условия для работы подшипников и вызывая их относительно быстрый износ. Также в тяжелых условиях работают и подшипники, в которых вращаются эксцентрики.

Выбивные решетки с инерционным приводом показаны на рис. 12.1, *б*, *в*. В этом случае решетка (рама) *2* опирается на амортизаторы — пружины *3* и совершает колебания под воздействием

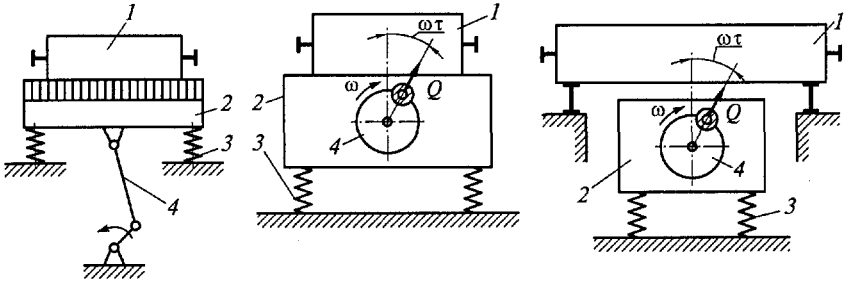


Рис. 12.1. Типы механических выбивных решеток:

а — эксцентриковая; *б* — инерционная; *в* — ударная инерционная; *1* — выбиваемая форма; *2* — решетка; *3* — опорная пружина; *4* — привод; *Q* — вес опок с отливками; ω — угловая скорость; ωτ — угол поворота вала

сил, генерируемых в системе. К наружным брусьям полотна решетки крепятся подшипниковые опоры, в которых закреплен вал. Вал не имеет внешних опор и приводится во вращение с помощью клиноременной передачи от электродвигателя, установленного на станине машины. На валу закреплен груз, центр тяжести которого смещен относительно оси вращения вала. При вращении вала груз создает возмущающую силу, которая имеет не только вертикальную, но и горизонтальную составляющие. По двум существующим в настоящее время схемам либо решетки снабжаются амортизаторами, гасящими их колебания в горизонтальной плоскости, либо на полотне решетки устанавливаются два вала с одинаковыми грузами, которые вращаются в разные стороны синхронно. Возмущающие силы обоих грузов (или их составляющие) в вертикальной плоскости при этом складываются, а в горизонтальной — взаимно уравновешиваются.

Колебательное движение решетки с подбрасываемой формой (см. рис. 12.1, *б*) при наличии амортизатора является сложным, поэтому настройка инерционных решеток на оптимальные режимы выбивки затруднена. В настоящее время отечественные заводы выпускают инерционные решетки грузоподъемностью от 1 до 20 т. При этом большие решетки требуют большой мощности электропривода, например решетка грузоподъемностью 20 т имеет двигатель мощностью 60 кВт и, следовательно, высокий расход электроэнергии.

12.5. ВЫБИВКА МЕТОДОМ ПРОШИВАНИЯ

В рассмотренных в подразд. 12.3 и 12.4 методах выбивки разные по состоянию формы (залитые или незалитые) разрушаются неодинаково, а для поточных и автоматических линий чаще всего

требуется согласование по времени операций, выполняемых на разных узлах. Поэтому для форм без крестовин в нижней опоке в настоящее время применяется выдавливание (прошивание) набивки *4* из опок плоской плитой *2* и пневматическими или гидравлическими цилиндрами *1* (рис. 12.2). Для очистки стенок опок от смеси плита *2* прошивного механизма по контуру облицовывается резиной *3*.

При наличии в верхней опоке крестовин прошивание ведется плоской плитой с башмаками, закрепленными на этой плите. В этом случае крестовины попадают в зазоры между башмаками и не мешают прошивке. Иногда прошивку плоской плитой формы в опоках без крестовин проводят со стороны контрлада нижней полуформы. Форма из опок поднимается и сдвигается с плиты на охладительный «склиз», на котором отливки в формах охлаждаются без опок, т. е. число необходимых опок уменьшается. Прошивная плита после прошивки уходит вниз, а опоки подаются на возвратную систему формовочной линии. Необходимое давление на поверхность контрлада формы при прошивании составляет 0,13...0,18 Н/мм^2. В настоящее время предложены импульсный и вакуумный методы прошивания форм с помощью воздуха. При импульсном прошивании форма устанавливается на раму и прижимается к импульсной головке. В ресивере импульсной головки находится сжатый воздух. В момент подачи импульса в полость над смесью воздух давит на смесь, подобно прошивной плите, и одновременно фильтруется через нее, способствуя разрушению набивки. На той высоте, где давление равно атмосферному, действует напряжение, передаваемое сюда по скелету смеси. Таким образом, нижележащие слои смеси будут выдавливаться под действием этого напряжения, как при механическом прошивании.

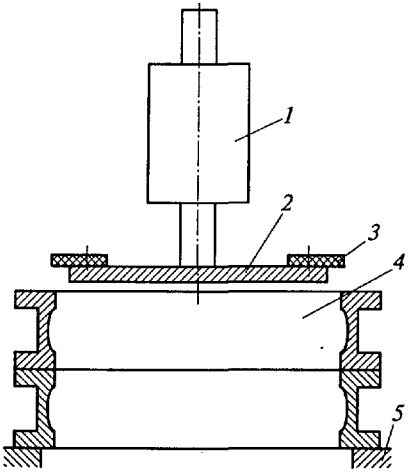


Рис. 12.2. Прошивное механическое устройство:

1 — цилиндр; *2* — прошивная плита; *3* — резиновая чистящая облицовка; *4* — набивка формы; *5* — рольганг

При вакуумном прошивании форма устанавливается на короб, соединенный быстродействующим клапаном с ресивером, в котором с помощью вакуумного насоса создано давление 0,03...0,04 МПа. Клапан открывается (скорость открытия клапана такая же, как в импульсной машине) и в набивке возникает фильтрующийся через смесь поток воздуха, который в

нижней части формы создает растягивающие напряжения в слоях смеси. В том слое, где растягивающие напряжения окажутся выше прочности смеси, произойдут отрыв смеси от формы и разрушение слоя. Этот слой начнет двигаться вниз, затем произойдет отрыв следующего слоя. Так последовательно разваливается вся форма. Для вакуумного прошивания требуются гораздо меньшие затраты энергии, чем для импульсного. Экологически он также лучше.

Кроме вакуумной выбивки прошиванием в МГТУ «МАМИ» опробован процесс объемного разрушения форм с помощью вакуумирования. Форма помещается с герметичную камеру и производится вакуумирование этой камеры с применением быстродействующего клапана. В результате начинается фильтрация воздуха, находящегося в порах смеси, возникают растягивающие напряжения, которые приводят к разрушению формы. Одновременно с фильтрацией воздуха из-за снижения давления в порах смеси начинается кипение влаги, находящейся в ней. Образующийся пар резко поднимает давление в порах, и скорость фильтрации газопаровой фазы через смесь увеличивается, отчего возрастают напряжения в слоях смеси, в результате форма разрушается до отдельных песчинок.

Недостатком метода является невозможность выбивки форм, остывших до цеховой температуры, и незалитых форм, так как на парообразование расходуется теплота смеси. В незалитых формах процесс парообразования не происходит, а в остывших формах образующийся пар конденсируется. Для нормальной работы установки температура формы должна быть 60...80 °С.

12.6. РАЗДЕЛЕНИЕ СМЕСИ И ОТЛИВОК

Все устройства, работающие по методу прошивания, выдавливают отливку вместе со смесью, поэтому используются специальные устройства, называемые «разделителями». Самостоятельно разделители могут устанавливаться для выбивки безопочных форм. Особенность работы разделителя в том, что продолжительность разделения не связана жестко со временем работы других механизмов линии. Кроме того, разделитель может быть расположен отдельно от выбивного устройства и соединен с ним транспортной системой.

Применяемые устройства для разделения смеси и отливки бывают двух типов — решеточного и барабанного.

Решеточные разделители смеси и отливки по принципу действия не отличаются от решеток, разрушающих форму. Все они являются решетками инерционного типа, но в зависимости от функций имеют конструктивные особенности. Разделитель, не выполняющий транспортных функций, расположен горизонтально.

Отливка остается на месте, и после разделения со смесью удаляется с разделителя подъемником. Для выполнения транспортных функций полотну решетки придают наклон, обычно 9...11°. Длина решеток-разделителей достигает в некоторых случаях 6 м. Для лучшего разделения смеси используют двухступенчатые разделители — две решетки устанавливают последовательно, причем на первой ступени отделяется основная масса формовочной смеси, а на второй — «шуба» физического пригара. Такое решение приводит к увеличению продолжительности разделения и в какой-то степени позволяет отделить пригар от потока оборотной смеси, направив его в отвал.

При отсутствии возможности установить два разделителя, если на одном «шуба» пригара плохо отделяется от отливок, то иногда применяют установку, на которой сила, подбрасывающая отливку над решеткой, заставляет ее совершать скачки «в гору», что достигается использованием вращения вала с дебалансом. Отливка за время свободного полета проходит меньший путь относительно полотна решетки и время нахождения ее на разделителе увеличивается. Полотно разделительной решетки делают только из продольных брусьев, иначе отливки могут зацепляться за поперечины. Расстояние между брусьями 25...60 мм. Нижняя часть решетки-разделителя наклонного типа имеет короб-поддон, по которому смесь движется к окну в его дне и далее падает на конвейер, идущий в смесеприготовительное отделение.

Последние 10—15 лет получили распространение разделители барабанного типа. Барабан изготовлен из отдельных уголков, параллельных оси и установленных с зазорами, или из перфорированного стального листа. Барабан устанавливают на опорные приводные ролики, закрепленные на наружной (сплошной) обечайке. Привод осуществляется через зубчатый венец. Ось барабана наклонена пол углом до 7° к горизонту. При вращении барабана внутри него происходит движение набивки или безопочной формы. В процессе движения набивка или безопочные формы поднимаются на некоторую высоту и, падая, разрушаются. Освободившиеся отливки совершают те же движения, но при очередном падении разбивают комья смеси и при соударениях очищаются от «шубы» пригара. Для увеличения продолжительности пребывания отливок в барабане на внутренней его поверхности устанавливают стальные винтовые полосы высотой до 50 мм, которые поднимают отливки и смесь на большую высоту по стенке барабана.

В последнее время рекламируют барабаны, в которые вода может подаваться мелкими струйками. Дозирование воды связано с температурой смеси, поступающей в барабан. Барабан дает возможность охладить отработанную смесь, а также ускорить охлаждение отливок. Длина такого барабана достигает 20 м, диаметр 2...2,5 м.

При выбивке безопочных форм, изготовленных с использованием особо прочных смесей (например, с применением химических методов упрочнения), перед разделителем ставят устройство, раздавливающее форму с помощью гидравлических цилиндров.

12.7. УДАЛЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ОТЛИВОК

Большинство стержней из мелких и средних отливок удаляется во время их обработки на решетках и разделителях. Для крупных и сложных отливок применяют специальные устройства.

Для удаления стержней из отливок их следует предварительно разрушить внутри отливки. Процесс разрушения стержней, если они не разрушились от теплового воздействия во время охлаждения отливки, проводится с применением пневматических вибрационных машин, гидравлических и пескогидравлических установок, дробеметных устройств и электрогидравлических установок.

Пневматическая вибрационная машина показана на рис. 12.3. После помещения отливки в тиски включают вибратор, разрушающий стержень. Вибрационные машины применяют главным образом в крупносерийном производстве (блоки цилиндров автомобильных двигателей, картеры коробок передач и т.п.). Их устанавливают обычно в конце галереи охлаждения отливок. Работа машин сопряжена с большим шумом и значительным выделением пыли, поэтому их располагают в специальном помещении вне цеха.

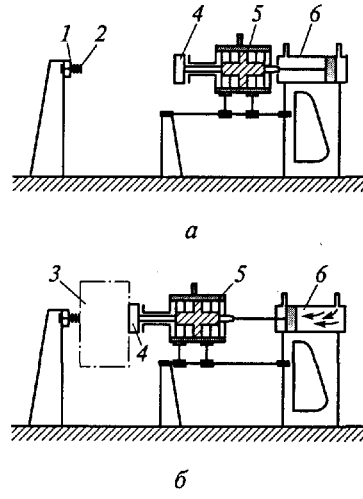


Рис. 12.3. Пневматическая вибрационная машина для выбивки стержней в состоянии покоя (*а*) и в момент выбивки (*б*):
1 — пружина щеки; *2* — неподвижная щека тисков; *3* — отливка; *4* — подвижная щека тисков; *5* — пневматический вибратор; *6* — пневматический толкатель для зажима отливки в тисках

12.7.1. Гидравлическая выбивка стержней

В общем машиностроении часто применяют гидравлическую выбивку стержней в гидрокамерах (рис. 12.4). Выбивка стержней в этом случае совмещается с удалением пригара. Отливку помещают внутри закрытой камеры на поворотный стол, с тем чтобы во

время работы поворачивать ее нужной стороной к гидромонитору, закрепленному на лафете вне камеры и управляемому либо вручную, либо с помощью следящего гидравлического привода. Последнее предпочтительнее, так как силы реакции струи создают большие сопротивления при повороте гидромонитора. Гидравлические камеры бывают низкого (давление воды 2,5...4,0 МПа) и высокого (10...20 МПа) давления.

Механизм разрушения стержня в установках одинаков: струя воды разрезает стержень на куски, размывает его и удаляет смесь из полости отливки. Разрезающее воздействие струи зависит от ее кинетической энергии, которая, в свою очередь, определяется массой жидкости, выбрасываемой в единицу времени, и скоростью ее движения. На установках высокого давления скорость струи гораздо выше, чем на установках низкого давления, поэтому в этих установках струя режет стержень на куски, а в установках низкого давления она только размывает стержень. В настоящее время наибольшее распространение получили установки высокого давления, так как они легче в управлении и, кроме того, в этом случае ниже затраты энергии.

Для очистки от пригара в струю воды подают кварцевый песок, что резко повышает очищающее воздействие струи. Применение гидровыбивки стержней улучшает экологическую обстановку в цехе и способствует восстановлению свойств выбиваемых формовочных материалов. К недостаткам таких установок относится большой износ сопел гидромониторов.

К недостаткам метода следует также отнести необходимость устройств систем осветления воды для ее повторного использова-

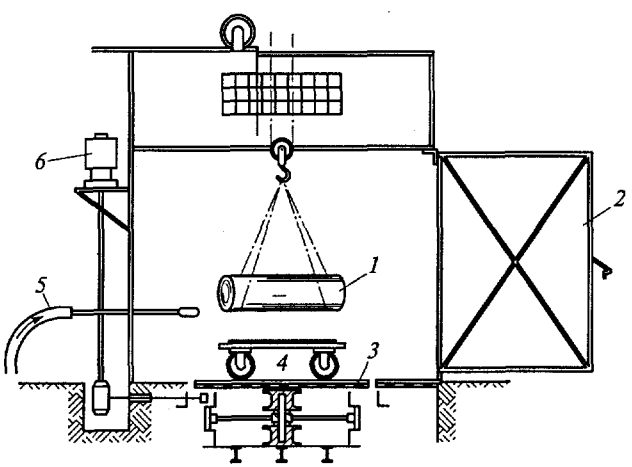


Рис. 12.4. Камера для гидравлической выбивки стержней:

1 — отливка; *2* — дверь камеры; *3* — вращающийся круг; *4* — тележка; *5* — подвод воды высокого давления; *6* — двигатель для вращения круга

ния, занимающих большие площади, и необходимость сушки выбитых формовочных материалов перед их дальнейшим использованием.

12.7.2. Электрогидравлическая выбивка стержней

При электрогидравлической выбивке стержней отливку помещают в ванну с водой. В ванне находятся два электрода, которые располагаются рядом с отливкой. В некоторых случаях один из электродов может быть соединен с отливкой. Между электродами или между электродом и отливкой пропускается электрический разряд при напряжении 30 кВ. При этом в жидкости образуются пузырьки водяного пара с давлением в них до 15 ГПа и возникает ударная волна, распространяющаяся со сверхзвуковой скоростью. Если в зоне разряда находится отливка, то при прохождении волны в материале отливки и стержня возникают упругие колебания. Вследствие разности модулей упругости и частот собственных колебаний отливки и стержня происходит разрушение последнего на границе его с металлом отливки. Интенсивное перемещение жидкости в зоне разряда обеспечивает эффективное удаление материала стержня из отливки. Образующийся на дне ванны шлам удаляется с помощью шламового насоса.

На поверхности отливки в момент разряда образуются кавитационные пузырьки, которые способствуют разрушению пригара. Частота разрядов колеблется от 1 до 10 $с^{-1}$. Число разрядов, необходимых для разрушения стержней, в зависимости от габаритов отливки находится в интервале от 200 до 1000, расход энергии ...7 кВт/т литья.

12.8. МЕТОДЫ ОТДЕЛЕНИЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ОТ ОТЛИВОК

Для отделения литниковых систем от отливок используют разные методы в зависимости от материала отливок, их массы и вида производства. Наиболее легко отделяются литники от отливок из серого и ковкого чугуна. Так как это хрупкие металлы, литники могут отделяться как сами в процессе выбивки, так и под ударами молотка при ручной очистке. Операция может проводиться на выбивных устройствах, непосредственно около них или перед началом первых операций очистки (для ковких чугунов перед «тверой очисткой»). Для отделения литников стальных отливок и отливок из цветных сплавов применяют эксцентриковые пресс-кусачки с приспособлением для укладки отливок, а также ленточные (для цветного литья) и круглые пилы. Кроме круглых пил используют беззубые дисковые пилы. Такая пила представляет со-

бой тонкий стальной диск диаметром 500...1500 мм. Диск вращается с окружной скоростью на внешнем диаметре 100...120 м/с. На торцовой поверхности диска могут быть выступы высотой 2...3 мм. При прижиме диска к литнику вследствие трения выделяется большое количество теплоты. Нагретый материал отливки становится пластичным и прорезается диском, сам же диск не нагревается до опасных температур. Преимущество дисковой пилы — высокая производительность и нечувствительность к наличию на поверхности отливки пригара, от которого страдают ленточные и круглые пилы. Недостаток — сравнительно небольшая глубина реза. Отношение наибольшего диаметра отрезаемого изделия (глубина реза) к диаметру диска не превышает 6...8 %, в то время как для круглых пил оно составляет 30...35 %.

В крупносерийном производстве для отделения литника иногда используют продавливание отливок через фильеру определенной конфигурации с помощью гидравлического пресса. Например, этот метод широко используется при литье в вертикальные стопочные формы и литье по выплавляемым моделям.

В мелкосерийном производстве крупных стальных отливок литники часто отделяют кислородно-газовой и плазменной резкой. Последние годы для отделения литников стали применять клин с гидравлическим приводом. Устройство имеет коробчатый корпус, на основании которого закреплен гидравлический цилиндр. На штоке цилиндра установлен клин, находящийся между пластинами. Устройство закладывается между стояком и отливкой или прибылью и отливкой, и при вдвигании клина между пластинами происходит отлом литника от отливки. Устройство может применяться для работы с толстостенными отливками.

12.9. ОЧИСТКА ОТЛИВОК ОТ ПРИГАРА И МЕЛКИХ ЗАЛИВОВ

Для очистки отливок используют очистные (галтовочные) барабаны, а также дробеметное и дробеструйное оборудование.

В барабанах очистка отливок производится за счет сил взаимного трения и легкого соударения отливок. Для усиления эффекта очистки в барабан вместе с отливками загружают звездочки размером 20...65 мм, отлитые из белого чугуна, которые своими острыми концами дополнительно скребут отливки, ускоряя их очистку. Наиболее эффективны звездочки для очистки труднодоступных частей отливок. Масса загружаемых звездочек составляет обычно 30...35 % массы загружаемых отливок.

Для очистки мелких отливок обычно применяют барабаны круглого сечения, которые загружают отливками на 70...80 %. Продолжительность очистки 0,5...1,5 ч в зависимости от величины и прочности пригара. Кроме круглых встречаются барабаны квад-

ратного сечения, которые применяют для очистки отливок, форма которых приближается к параллелепипеду. Такие отливки загружают не навалом, а аккуратно укладывают, заполняя весь объем барабана. Перемещение отливок ограничено, и очистка происходит в основном благодаря циркуляции звездочек.

Производительность барабана находится в прямой зависимости от частоты вращения, однако при слишком большой частоте вращения центробежные силы могут прижать отливки к стенкам барабана, и процесс очистки прекратится. Очистные барабаны, которые чаще называют «галтовочными», бывают двух видов — периодического и непрерывного действия. Барабан периодического действия состоит из собственно барабана, цапфы которого вращаются в подшипниках, установленных на стойках рамы. В обечайке барабана имеется загрузочный люк, закрываемый крышкой с замками. Привод барабана осуществляется от электродвигателя через редуктор, шестерня которого находится в зацеплении с зубчатым колесом, надетым на цапфу барабана. Обычно при работе барабана производят отсос пыли через патрубок, подсоединенный к полой цапфе. Для загрузки отливок барабан может быть оснащен подъемником.

Галтовочный барабан непрерывного действия представляет собой полый цилиндр, с обоих концов которого приварены конусы для загрузки и выгрузки отливок. Ось барабана наклонена к горизонту под углом 4... 10°. Угол наклона регулируется. Барабан опирается на катки, два из которых приводятся во вращение через редуктор.

Отливки, непрерывно поступающие с одной стороны барабана, постепенно продвигаются вдоль барабана и за счет взаимного трения одной о другую очищаются. Для удаления из барабана песка и пригара служат отверстия, которые сделаны в его стенках. Под барабаном размещается ленточный конвейер для уборки песка, приводимый в действие электродвигателем. Сверху барабан закрыт кожухом, который патрубком соединен с цеховой вентиляцией.

Недостатком барабанов является высокий уровень шума и сильное пылевыделение. Барабаны периодического действия, кроме того, имеют малую производительность. Их главное преимущество — простота и надежность. В настоящее время барабаны периодического действия повсеместно заменяются другими устройствами.

Барабаны непрерывного действия не обеспечивают, как правило, хорошего качества очистки; они, в основном, применяются для предварительной очистки отливки от шубы; полную очистку отливки проходят затем в дробеметном барабане непрерывного действия. В некоторых случаях функция этого барабана с успехом выполняется в барабанном разделителе.

Более широкое распространение в настоящее время имеет дробеметная очистка отливок.

12.9.1. Дробеметная очистка отливок

При очистке поток чугунной или стальной дроби диаметром 1...3 мм с большой скоростью направляется на поверхность отливки, покрытую слоем пригара. При ударе дробинки слой пригара сжимается, при этом в зоне контакта возникают сжимающие, а на границе зоны — растягивающие напряжения. При достаточно большой энергии отдельной дробинки напряжения в зоне контакта превышают предел прочности на растяжение, и на границе зоны контакта образуется круговая трещина. Трещины могут зарождаться как на поверхности, так и на некоторой глубине слоя. Трещины от предыдущих ударов смыкаются с трещинами от последующих ударов, происходит отделение от основного слоя крупных частиц пригара. Этот процесс продолжают до тех пор, пока все частицы пригара не будут отделены от поверхности отливки.

На практике применяют чугунную (литую и колотую) или стальную (резаную) дробь. Эксперименты показали, что колотая и резаная дробь обеспечивает увеличение производительности в 1,05—1,7 раз. Стальная дробь, по сравнению с литой чугунной, не дает увеличения производительности, однако имеет бóльшую стойкость (разрушается меньше), чем литая чугунная.

Поток дроби, летящей с большой скоростью, создается с помощью дробеметного колеса или пневматического дробеструйного аппарата [1]. В дробеметном колесе дробь подается самотеком из воронки на лопатки импеллера (распределительного колеса), вращающегося вместе с основным лопаточным колесом. Импеллер вращается в неподвижной распределительной коробке, в которой имеется окно. Лопатки импеллера разгоняют поток дроби и выбрасывают его в окно. Вылетающая дробь подхватывается рабочими лопатками, которые укреплены между двумя дисками, стянутыми болтами, проходящими через распорные втулки. Под действием центробежных сил дробь перемещается по рабочим лопаткам колеса от центра к периферии и выбрасывается с большой скоростью в виде факела.

Описанный тип дробеметного аппарата является самым распространенным у нас в стране. Существуют и другие конструкции, например безымпеллерный дробеметный аппарат, состоящий из диска (на котором с обеих сторон закреплены по две изогнутые лопатки), двух патрубков (по которым самотеком поступает дробь), и кожуха.

Производительность (количество выбрасываемой дроби) в этих аппаратах в основном зависит от диаметра питающего патрубка, подающего дробь из воронки к лопаточному колесу.

Рабочие лопатки дробеметных аппаратов, импеллеры, распределительные коробки отливают из износостойких сплавов, чаще всего из хромистого, хромоникелевого или бористого чугуна, часто с последующей термической обработкой (закалка в масле и отпуск). Стойкость этих деталей — 50...80 ч. При использовании для лопаток обычного белого чугуна стойкость падает до 2...3 ч. Рабочие лопатки для колеса необходимо подбирать комплектом (по восемь штук) с минимальной разностью по массе до 3,0...3,5 г.

В состав дробеметных установок, применяемых для очистки отливок, кроме дробеметных аппаратов входят механизмы подачи отливок в поток дроби и устройства для возврата и сепарации дроби после ее использования.

Обработка отливок во всех установках производится в хорошо закрытых камерах, так как дробинки после удара об отливку отскакивают в произвольном направлении со скоростью до 30 м/с.

В зависимости от способа подачи отливок в поток дроби дробеметные установки, применяемые в литейном производстве, делятся на дробеметные ленточные барабаны периодического действия, барабаны непрерывного действия, качающиеся желоба, столы, камеры непрерывного и периодического действия.

Барабаны применяют для очистки отливок массой до 100 кг. В дробеметных ленточных барабанах периодического действия дробеметный аппарат размещен над пластинчатым (иногда ленточным) конвейером, который огибает два диска, расположенные по краям конвейера. Диски свободно вращаются в подшипниках и вместе с пластинчатым конвейером образуют рабочую полость барабана. Пластинчатый конвейер натянут с помощью трех пар звездочек, одна из которых приводная. Отливки, находящиеся в рабочей полости, при движении конвейера поднимаются вверх, затем, переворачиваясь, соскальзывают вниз, т.е. поочередно струей дроби обрабатываются все поверхности.

Известны два типа дробеметных барабанов непрерывного действия: ленточный и цилиндрический. В ленточном дробеметном барабане два пластинчатых конвейера, конструкция которых аналогична конструкции конвейера барабана периодического действия, своими краями огибают три вращающихся полых цилиндра. Над пластинчатыми конвейерами установлены дробеметные аппараты. Отливки непрерывно поступают в приемную воронку, последовательно проходят через цилиндрические и ленточные барабаны, дважды попадая под потоки дроби, и выдаются из желоба. Ось барабана установлена под небольшим углом к горизонту, а на внутренних стенках цилиндров укреплены наклонные брусья; благодаря этому отливки постепенно перемещаются вдоль барабана.

Цилиндрический дробеметный барабан непрерывного действия состоит из полого цилиндра, вращающегося в камере. К торцам цилиндра приварены конусы. Барабан опирается на че-

тыре ролика, приводимые в движение от электродвигателя. По обоим торцам барабана установлены два дробеметных аппарата. Отливки непрерывно поступают с одного конца барабана и выходят с другого, проходя под потоками дроби двух дробеметных аппаратов. Установка применяется для очистки отливок массой до 20 кг. При использовании проходных дробеметных барабанов целесообразно отливки сначала пропустить через проходной галтовочный барабан для очистки от «шубы».

Дробеметный качающийся желоб (название условное) также предназначен для очистки мелких отливок. Отливки поступают непрерывно на полотно желоба. Продольная ось желоба расположена под небольшим углом к горизонту, а сам желоб непрерывно поворачивается и качается то в одну, то в другую сторону вокруг этой оси на угол 130...150°. Над желобом размещено несколько дробеметных аппаратов. При качании желоба отливки непрерывно переворачиваются и перемещаются от входного конца желоба к выходному. Установка проще ленточного барабана непрерывного действия, в ней можно установить больше дробеметных аппаратов, чем в цилиндрическом барабане; направление движения дробинок относительно отливок может быть оптимальным, чего нельзя достичь в цилиндрическом барабане.

Дробеметный стол применяется для очистки средних отливок при малой мощности цеха. В камере установлен стол, вращающийся вокруг вертикальной оси. На потолке камеры, а иногда и на стенах установлены один или несколько дробеметных аппаратов. Часть стола находится снаружи камеры. Стол непрерывно вращается. Отливка ставится на стол и при движении стола попадает внутрь камеры, отгибая эластичную занавеску, которая часто делается из резинотканевых полос. При вращении стола отливка проходит под потоком дроби, очищается и выходит из камеры. Затем отливку переворачивают и вновь направляют в камеру.

Иногда на столе размещают вращающийся вокруг собственной оси малый стол. Внутри камеры этот стол начинает вращаться, подставляя потокам дроби все новые поверхности отливки.

Внутри дробеметной камеры непрерывного действия (конвейерной) (рис. 12.5) движется подвижной цепной конвейер *4*, на специальных подвесках которого размещены отливки. На стенах камеры установлены четыре-шесть дробеметных аппаратов *5*. Подвеска при движении вдоль фронта дробеметных аппаратов вращается, что позволяет установить аппараты с одной стороны камеры. Установка применяется в массовом производстве для очистки крупных отливок массой до 300 кг.

В последние годы появились дробеметные камеры с индивидуальными подвесками. На стене такой камеры также размещаются дробеметные аппараты, а отливка навешивается на крюк подвески. Однако здесь каждая подвеска имеет собственный привод. После

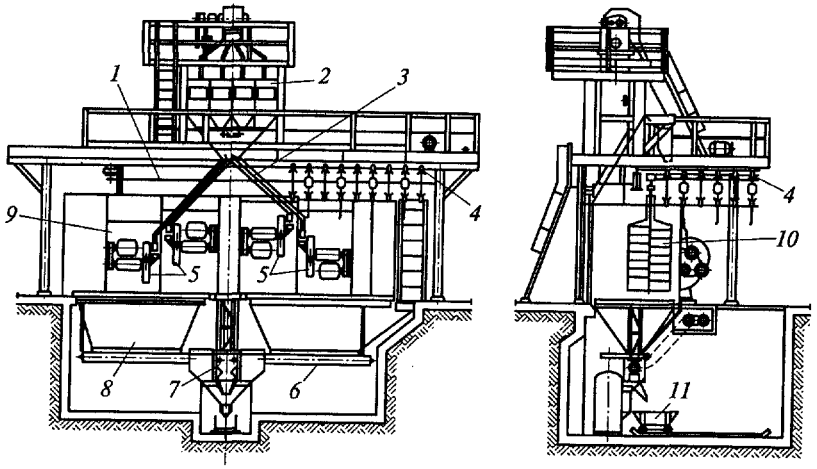


Рис. 12.5. Проходная конвейерная дробеметная камера:

1 — копир; *2, 3* — каналы подачи дроби; *4* — цепной конвейер; *5* — дробеметные аппараты; *6* — конвейер; *7* — сепаратор; *8* — сборник дроби и пригара; *9* — стенка камеры; *10* — защитные шторки; *11* — приемник для пригара

загрузки отливка на подвеске перемещается в камере и останавливается напротив дробеметных аппаратов; вращение подвески соответствует заранее заданной программе, запрограммирована и продолжительность нахождения отливки в камере. Такие установки позволяют найти и осуществить оптимальный режим очистки для каждой отливки.

Для очистки крупных отливок применяют тележечные камеры периодического действия. Отливки устанавливают на самоходную тележку, которая въезжает в камеру. Тележка может иметь вращающийся стол, тогда в процессе очистки стол вместе с отливкой медленно поворачивается вокруг вертикальной оси. Для очистки длинных отливок применяют челночные тележки, которые периодически совершают возвратно-поступательное движение. Длина отливки при этом может быть больше длины камеры.

Устройства для возврата дроби после ее использования должны собрать всю дробь и доставить ее к питающему патрубку дробеметного аппарата. Обычно под транспортирующим отливку органом расположен приемник — это, как правило, конусообразная емкость, куда падает дробь, потерявшая скорость. Из этой емкости дробь по наклонному днищу или с помощью шнекового конвейера подается к ковшовому элеватору, который поднимает ее над камерой установки. Из элеватора дробь поступает в воздушный сепаратор для очистки — отделения от дроби песка и пылевидных частиц. После сепарации очищенная дробь поступает к дробеметным аппаратам.

Дробеметные установки в последнее время используются не только для очистки, но и для комплексной обработки отливок: выбивки стержней, очистки отливок и частичной регенерации смеси. Принципиальная схема установок при этом не изменяется. Поток дроби разрушает стержень, а при хаотическом движении отливок части стержня из нее вываливаются. Одновременно происходит очистка от пригара внешних поверхностей отливки, а после удаления стержня — внутренних.

Песок от разрушенных стержней подвергается непрерывным ударам дробинок, поэтому происходит интенсивное отделение инертных пленок от зерен песка, т.е. идет регенерация песка.

С увеличением доли песка в обороте он попадает в дробеметный аппарат, что является основной причиной повышенного износа деталей дробеметного аппарата. Поэтому в дробеметных установках, предназначенных для выбивки стержней, применяется специальная система сепарации образующейся дробепесчаной смеси. Например, выбивку стержней проводят без подачи оборотной дроби в дробеметный аппарат. Затем осуществляется многократная сепарация образовавшейся дробепесчаной смеси при неработающем дробеметном аппарате, и только по окончании сепарации приступают к очистке отливок.

Наиболее эффективно для разрушения стержней с остаточной прочностью выше 0,7 Н/мм^2 использовать дробь диаметром 1,0...1,5 мм, а для разрушения стержней с прочностью ниже 0,7 Н/мм^2 — дробь диаметром 2,0...2,5 мм. Потоком дроби разрушаются стержни из высокопрочных смесей с остаточной прочностью 15...17 Н/мм^2. Чем выше остаточная прочность, тем длительнее процесс выбивки стержня.

12.9.2. Дробеструйная очистка отливок

Генерировать поток дроби для очистки можно не только механическим путем, но и с помощью потока сжатого воздуха. Такой метод очистки называется «дробеструйным».

Расход энергии на 1 т очищаемых отливок при дробеструйной очистке примерно в 6 раз выше, чем при дробеметной. Ее главное преимущество — возможность направлять струю из сопла в любое место отливки, в том числе и во внутренние ее полости.

12.10. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ

12.10.1. Электрохимическая очистка

Суть процесса электрохимической очистки поверхности отливок от пригара заключается в катодном восстановлении оксидов

железа пригара в электролите из расплавленного технического каустика (NaOH) при температуре 400...500 °С и наложении постоянного тока низкого напряжения (5...10 В). В качестве анода обычно служит корпус ванны. Катодом являются сами очищаемые отливки, которые после их предварительного нагрева до 250 °С погружаются в проволочной корзине в электролит.

Пригар на стальных и чугунных отливках представляет собой многофазную систему, наружный слой которой состоит из кварца, частично перешедшего в тридимит (SiO_2), а внутренний слой, непосредственно прилегающий к металлу отливки, — из силикатов и оксидов железа.

При погружении отливок в электролит $SiO_{2(пригар)}$ взаимодействует с едким натром по реакции

$$SiO_{2(пригар)} + 2NaOH = Na_2SiO_3 + H_2O.$$

Далее происходит реакция NaOH с внутренним слоем пригара, причем вначале растворяется $FeSiO_3$, а затем прилегающий непосредственно к металлу отливки фаялит Fe_2SiO_4:

$$FeSiO_3 + 4NaOH = Na_2SiO_3 + Na_2FeO_2 + 2H_2O;$$

$$Fe_2SiO_4 + 6NaOH = Na_2SiO_3 + 2Na_2FeO_2 + 3H_2O.$$

По мере образования в электролите феррата натрия происходит его окисление выделяющимся в процессе электролиза на аноде кислородом в феррит натрия:

$$2Na_2FeO_2 + O_2 + H_2O = Na_2Fe_2O_4 + 2NaOH.$$

Одновременно происходит растворение оксидов железа:

$$Fe_2O_3 + 2NaOH = Na_2Fe_2O_4 + H_2O;$$

$$Fe_3O_4 + 4NaOH = Na_2Fe_2O_4 + 2H_2O + Na_2FeO_2;$$

$$FeO + 2NaOH = Na_2FeO_2 + H_2O.$$

Таким образом, в результате растворения пригара на поверхности отливок образуется рыхлый слой феррита ($Na_2Fe_2O_4$) и феррата (Na_2FeO_2) натрия. Этот слой легко отстает от отливок вследствие резкого охлаждения их в холодной воде, куда отливки погружают непосредственно после катодной обработки, и поверхность отливок получается очень чистой. После промывки в холодной воде отливки подвергаются дополнительной промывке в горячей воде до окончательного удаления следов щелочи.

Применяют также метод периодического подключения отливок к отрицательному и положительному полюсам источника тока, что ускоряет процесс очистки.

В процессе обработки отливок образуется кремнекислый натрий $(Na_2O)\cdot SiO_2$ (жидкое стекло), который выпадает на дно ванны в виде шлама. В качестве электролита для очистки отливок при-

меняют чистый NaOH (температурой плавления $t_{пл}$ = 246 °С) или состав, содержащий 93 % NaOH и 7 % NaCl ($t_{пл}$ = 283 °С). Рекомендуемая плотность тока 15...25 А/дм^2, продолжительность процесса 25...30 мин. Расход электролита в ванне должен быть 10-кратным по отношению к массе загружаемых отливок.

Преимущество метода — полная очистка от пригара внешних и внутренних поверхностей отливки, недостаток — достаточно высокая стоимость каустика, необходимость тщательной промывки отливок после очистки, специальные требования по технике безопасности и промышленной санитарии. Для повышения экономической эффективности предлагается утилизировать жидкое стекло, образующееся в процессе очистки. Метод целесообразно использовать для очистки отливок, к которым предъявляются специфические требования, например для отливок гидроаппаратуры.

12.10.2. Вибрационная очистка

Метод вибрационной очистки заключается в том, что отливки загружают в вибрационный контейнер. Корпус контейнера опирается на пружины, на которых он совершает колебания, возбуждаемые валом с дебалансом, вращающимся в подшипниках, укрепленных на этом корпусе. Вместе с очищаемыми отливками в вибрационный контейнер загружают абразив, например бой шлифовальных кругов, звездочки из белого чугуна, крупную чугунную дробь. При вибрации корпуса контейнера происходят интенсивные колебательные перемещения с взаимным трением отливок и абразива, и поверхность отливок очищается от пригара.

Согласно опытным данным рекомендуемая частота колебаний 25 с$^{-1}$ при амплитуде 2...3 мм и размере гранул абразива 20... 25 мм. Контейнер загружают на 75 % объема при соотношении объемов отливок и наполнителя 7:10. Продолжительность очистки 20...30 мин.

Для интенсификации процесса виброочистки рекомендуется вместо одного приводного вала с дебалансом использовать два вала, расположенные по бокам контейнера примерно на половине его высоты, а также закреплять отливки в зажимах, что увеличивает эффект циркуляции абразива, и применять высокую частоту вибрации, равную 100...300 с$^{-1}$.

Метод используется для отливок, к шероховатости поверхностей которых предъявляются повышенные требования.

12.11. ЗАЧИСТКА ОТЛИВОК

При зачистке отливок с поверхности отливки срезают остатки питателей и заливы, образовавшиеся по плоскости разъема, а также заливы в знаковых частях стержней.

Оборудование для зачистки отличается от оборудования других переделов литейного цеха, что связано не только с характером самой операции, но и с тем, что движение инструмента относительно отливки и режим его работы зависят от конфигурации отливки данного наименования. Поэтому выбор средств механизации и тем более автоматизации процесса зачистки зависит во многом от массовости производства, т. е. от числа отливок данного наименования, выпускаемых литейным цехом в год.

Существуют два метода зачистки: с помощью абразивных шлифовальных кругов и с помощью специального режущего инструмента. В настоящее время шлифовальные круги для зачистки отливок изготовляют исключительно из искусственных абразивных материалов — карборунда и электрокорунда.

Чаще всего применяют шлифовальные круги цилиндрической формы — в виде сплошного диска и кольцевые. Окружная скорость круга ограничивается прочностью связки из-за опасности разрушения круга под действием центробежных сил, что может привести к травматизму рабочего персонала. Окружную скорость кругов при обдирке отливок часто ограничивают величиной 30 м/с. Для кругов на керамической связке допускается скорость до 35 м/с, на бакелитовой — до 40 м/с при механической подаче зачищаемых отливок. Для современных автоматизированных станков наметилась тенденция к повышению окружной скорости кругов до 50 м/с и выше с регулированием частоты вращения по мере износа круга.

Для зачистки отливок применяют стационарные, маятниковые, переносные и специальные (автоматизированные) шлифовальные (обдирочные) станки.

Стационарные станки, оснащенные обычно двумя кругами, применяются для отливок массой до 30 кг. Зачищаемые отливки опираются на столик перед кругом, их удерживают и прижимают к столику вручную и «животом». Направление вращения круга должно быть таким, чтобы трением круга отливка прижималась к столику. Предохранительные кожухи кругов должны иметь интенсивный отсос пыли, а сверху над столиками рекомендуется устраивать защитные экраны из стекла, армированного металлической сеткой. Стационарные станки обычно имеют шлифовальные круги диаметром 500...600 мм и шириной 60...75 мм.

Маятниковый подвесной шлифовальный станок подвешивают к какой-либо стационарной опоре, и рабочий за ручки наклоняет его к отливке, помещенной под шлифовальным кругом на столе или на роликовом конвейере. Диаметр круга чаще всего составляет 350...400, реже 500...600 мм. Маятниковые станки часто применяют для зачистки средних и среднекрупных отливок в крупносерийном производстве на поточных линиях с роликовыми конвейерами. Применяются также переносные шлифоваль-

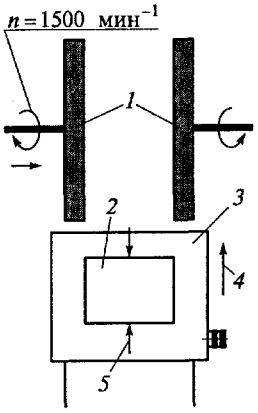


Рис. 12.6. Схема полуавтомата для зачистки двух торцов корпусных отливок средних размеров:
1 — шлифовальные круги; *2* — отливка; *3* — стол; *4* — направление подачи отливки; *5* — зажим отливки; *n* — скорость вращения шлифовальных кругов

ные станки. Для облегчения работы по зачистке литья применяют манипуляторы, которые могут перемещать как отливку, так и шлифовальный узел.

Одно из направлений механизации зачистки отливок: разбивка всей номенклатуры отливок данного цеха на несколько групп по характеру зачистки. Отливки каждой группы делятся на подгруппы по размерам или другим специфическим особенностям их конфигурации. Каждая группа обрабатывается на отдельном станке. Это облегчает переналадку станка при переходе на обработку новой отливки из данной группы. Пример схемы полуавтомата приведен на рис. 12.6. Станки для обработки группы отливок являются полуавтоматами: установка отливок в приспособление станка осуществляется вручную.

Вследствие больших колебаний припусков на обработку, вызванных смещением полуформ и подутием отливок, шпиндель шлифовальных кругов должен допускать небольшое осевое перемещение шлифовального круга. Такая конструкция плавающего шпинделя исключает чрезмерный рост усилия резания, перегрев круга и примерно на 50 % снижает расход мощности на зачистку.

Кроме механизации осуществляется также автоматизация процесса очистки. Существует много автоматических линий для зачистки крупных отливок в цехах массового и крупносерийного производства. В основном это линии зачистки отливки блока цилиндров двигателей внутреннего сгорания. Отливка подвесным конвейером доставляется к линии, с помощью кран-балки устанавливается на конвейер, и загрузчик направляет отливку на каретку. Каретка, совершая челночные движения, вводит отливку в зону действия шлифовальных кругов двухшпиндельного автомата, блок при этом зачищается с торцов. Затем загрузчик продвигает отливку между двух шлифовальных кругов второго автомата. При этом зачищаются боковые поверхности отливки, далее отливка поступает в кантователь, и после поворота загрузчик вводит ее между шлифовальных кругов в третий автомат. Готовая отливка поступает на наклонный роликовый конвейер.

ГЛАВА 13

ЛИТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

Литниковые системы служат, главным образом, для заливки расплавленного металла в литейную форму в заданное время. Для питания отливок в процессе затвердевания и вывода из них усадочных раковин служат прибыли. Наряду с основным назначением литниковой системы — заполнять литейную форму в заданное время можно назвать и другие требования, имеющие отношение к качеству отливок (например, размыв и разрушение формы, образование ужимин) и экономике (масса литниковой системы, площадь, занимаемая на модельной плите). Однако все изменения литниковой системы с учетом названных требований могут быть приняты во внимание, если рабочая полость формы заполнена и воспроизведена.

13.1. КОНСТРУКЦИИ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Наиболее распространенной литниковой системой для отливок из наиболее широко используемого литейного сплава — чугуна — является система, состоящая из четырех элементов: литниковой воронки (чаши) *1*, стояка *2*, шлакоуловителя *3* и питателя *4* (рис. 13.1). Часто используются более сложные литниковые системы. Например, литниковая система для отливок из высокопрочного чугуна, модифицируемого в литейной форме, состоит по крайней мере из восьми следующих элементов: литниковая воронка (чаша), стояк, литниковый ход, реакционная камера, центробежный шлакоуловитель, питатель, прибыль, шейка (рис. 13.2) [10].

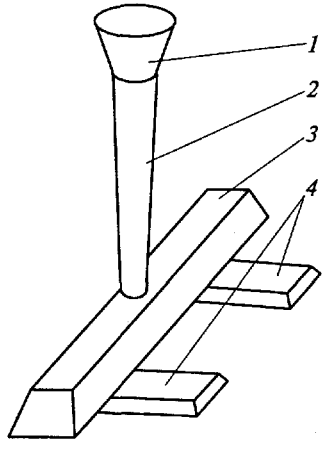


Рис. 13.1. Литниковая система, состоящая из четырех элементов:
1 — литниковая воронка; *2* — стояк; *3* — шлакоуловитель; *4* — питатели

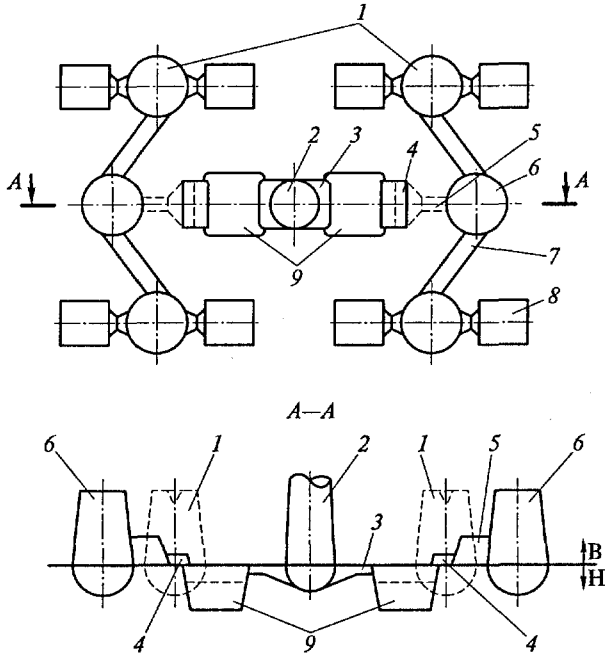


Рис. 13.2. Литниковая система для модифицирования отливок из высокопрочного чугуна в литейной форме:

1 — прибыли; *2* — стояк; *3* — литниковый ход; *4* — выход из реакционной камеры; *5* — вход в центробежный шлакоуловитель (ЦБШ); *6* — ЦБШ; *7* — выход из ЦБШ; *8* — отливка; *9* — реакционные камеры; В, Н — верх и низ формы

Следует отметить многообразие конструкций литниковых систем, которые можно классифицировать по ряду признаков. Одним из основных признаков является расположение узкого сечения. Если узким сечением являются питатели, то литниковая система называется сужающейся (заполненной) (рис. 13.3, *а*). При расположении узкого сечения в стояке литниковая система называется расширяющейся. Также расширяющейся является и литниковая система, в которой узкий элемент в виде дросселя расположен внутри литниковой системы между стояком и питателем. Такие системы называют дроссельными (рис. 13.3, *б*) [39].

Сужающиеся литниковые системы используют для формирования отливок из чугуна и углеродистой стали, когда не возникает проблем образования неметаллических включений и плен в процессе заливки. При изготовлении отливок из легированных и высоколегированных сталей и цветных металлов, особенно на алюминиевой и магниевой основе, поток расплава в каналах литниковой системы должен быть нетурбулентным, заполнение должно быть спокойным. В противном случае при заливке даже дегази-

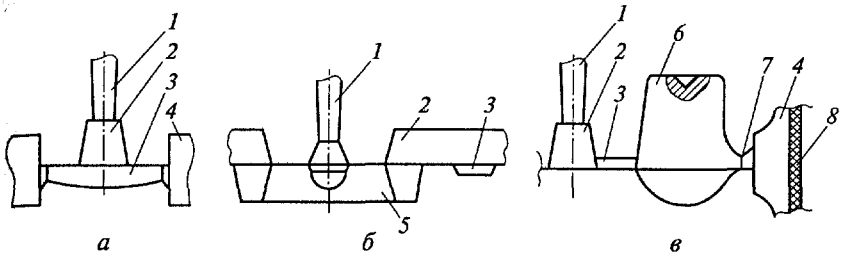


Рис. 13.3. Боковые литниковые системы:

а — сужающаяся; *б* — дроссельного типа; *в* — с проточной боковой прибылью; *1* — стояк; *2* — шлакоуловитель; *3* — питатель; *4* — отливка; *5* — дроссель; *6* — прибыль; *7* — шейка; *8* — стержень

ованного и рафинированного сплава отливки будут поражены еметаллическими включениями и пленами.

В некоторых случаях литниковая система выполняет две функции: подводит металл в отливку и питает ее. В этих случаях литниковую систему называют «литниково-питающей». Ярким примером литниково-питающей системы является литниковая система при литье по выплавляемым моделям, когда стояк является прибылью для всех присоединенных к нему отливок. Элемент, соединяющий стояк с отливкой, называется «шейкой». Шейка должна затвердевать позже отливки (рис. 13.3, *в*).

Другим примером является литниковая система при подводе металла по разъему через боковую прибыль. При этом металл в прибыль подводится через питатель, а прибыль с отливкой соединяется шейкой. Следовательно, литниковые системы подразделяются на просто литниковые, обеспечивающие подвод металла в отливку, и литниково-питающие с функциями подвода металла и питания отливки.

Для мелких отливок следует отметить, что их питание из обычной литниковой системы хотя и характеризуется данными о компенсации до 30 % объема усадочных раковин, но не является основанием, чтобы называть данную систему «литниково-питающей».

Одним из основных классификационных признаков литниковых систем является способ подвода металла в отливку, по которому их подразделяют на боковые (см. рис. 13.3), нижние (сифонные) (рис. 13.4), верхние (рис. 13.5, *а*, *б*), дождевые (рис. 13.5, *в*), тажные (с расположением чаще одинаковых отливок на разных тажах) (рис. 13.6), ярусные (металл подводится к одной отливке на разных уровнях — ярусах) (рис. 13.7, *а*) и комбинированные рис. 13.7, *б*).

Боковая литниковая система является наиболее часто применяемой, при этом металл подводится к отливке по разъему. Она

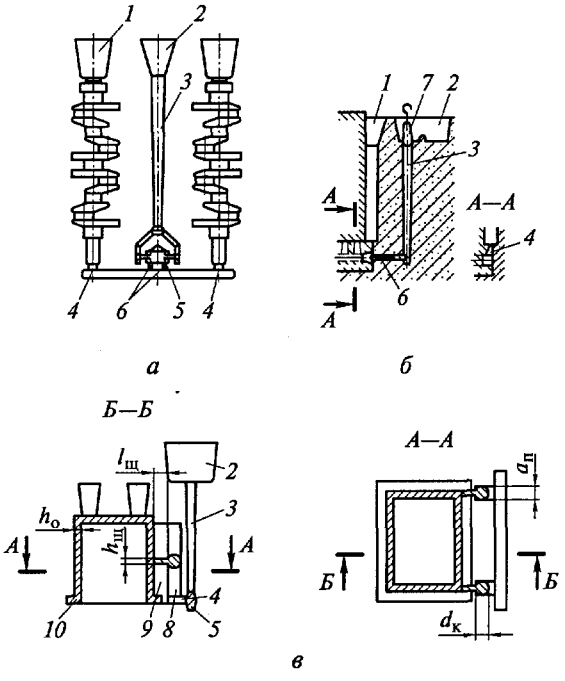


Рис. 13.4. Сифонная литниковая система:

а — для безопочных форм с вертикальным разъемом для отливки коленчатого вала; *б* — с кольцевым подводом; *в* — вертикально-щелевая; *1* — прибыль; *2* — воронка или чаша; *3* — стояк; *4* — питатель; *5* — шлакоуловитель; *6* — дроссели; *7* — пробка; *8* — колодец; *9* — щелевой канал; *10* — отливка; $h_о$ — толщина стенки отливки; $h_щ$ — толщина щели; $l_щ$ — ширина щели; $d_к$ — диаметр колодца; $a_п$ — ширина питателя

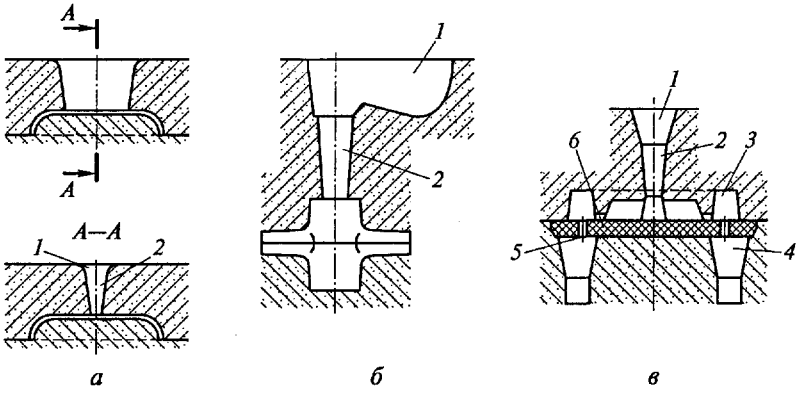


Рис. 13.5. Литниковые системы:

а, *б* — верхние; *в* — дождевая; *1* — воронка или чаша; *2* — стояк; *3* — шлакоуловитель; *4* — прибыль; *5* — питатель; *6* — горизонтальный дроссель

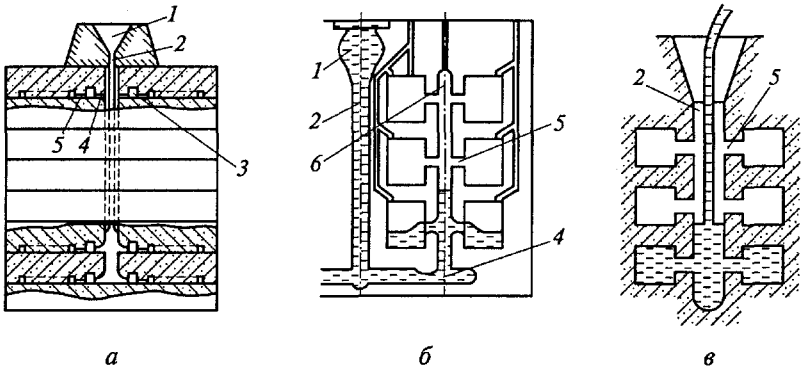


Рис. 13.6. Этажные литниковые системы:

а — при стопочной формовке; *б* — в безопочной форме с вертикальным разъемом; *в* — при литье по выплавляемым моделям; *1* — воронка или чаша; *2* — стояк; *3* — шлакоуловитель; *4* — дроссель; *5* — питатель; *6* — обратный (распределительный) стояк

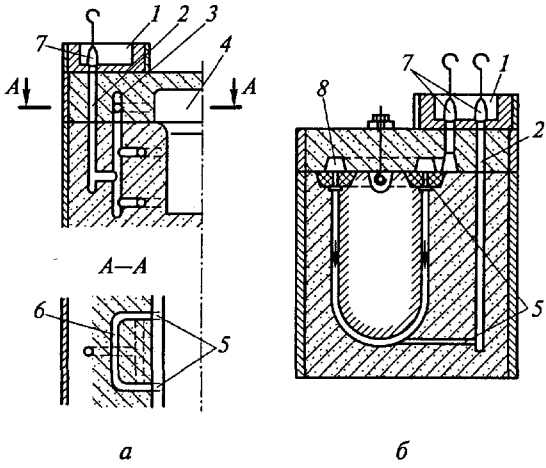


Рис. 13.7. Ярусная литниковая система:

а — подвод металла на разных уровнях (ярусах) одной отливки; *б* — комбинированная литниковая система (сифонная и дождевая); *1* — чаша; *2* — стояк; *3* — обратный распределительный стояк; *4* — прибыль; *5* — питатели; *6* — литниковый ход; *7* — пробки; *8* — шлакоуловитель; стрелками показано направление металла при подключении дождевой системы

отличается от других способов подвода металла удобством при формовке (см. рис. 13.3, *а*—*в*).

Нижние и верхние литниковые системы можно считать частным случаем боковой как более общей. Если вся отливка расположена в нижней полуформе, то боковую литниковую систему можно считать вариантом верхней, а если вся отливка расположе-

на в верхней полуформе, то боковую литниковую систему можно считать вариантом нижней (сифонной). Боковая литниковая система может быть также дроссельной с вертикальным дросселем (см. рис. 13.3, *б*) и с проточной боковой прибылью (см. рис. 13.3, *в*). Упомянутая литниковая система, используемая при модифицировании высокопрочного чугуна в литейной форме, также является боковой (см. рис. 13.2).

Сифонные литниковые системы, обеспечивающие особо спокойное заполнение отливки снизу, часто используют при заливке массивных отливок, а также безопочных форм с вертикальным разъемом (см. рис. 13.4, *а*) и для ответственных отливок (см. рис. 13.4, *б*).

К нижним литниковым системам можно отнести и вертикально-щелевую систему (см. рис. 13.4, *в*), применяемую для заливки отливок из алюминиевых и магниевых сплавов. Основное требование к вертикально-щелевым системам сводится к тому, что стояк должен быть незаполненным. Часто в систему включается шлакоуловитель, называемый «шлаковым колодцем».

Верхние литниковые системы подводят металл непосредственно из стояка в отливку (см. рис. 13.5, *а*, *б*) или в проточную закрытую прибыль (см. рис. 13.5, *в*). В последнем случае литниковую систему называют также дождевой, ее чаще всего применяют при получении цилиндрических отливок в вертикальном положении (см. рис. 13.5, *в*).

Этажные литниковые системы используются при стопочной формовке мелких отливок (например, поршневых колец) (см. рис. 13.6, *а*), на автоматических линиях безопочной формовки с вертикальным разъемом (см. рис. 13.6, *б*), при литье по выплавляемым моделям (см. рис. 13.6, *в*).

Площадь сечения питателей каждого этажа литниковой системы будет зависеть от высоты, на которой он находится: чем больше высота, тем меньше площадь сечения.

Ярусные литниковые системы применяют при изготовлении крупных отливок. Они обеспечивают последовательное заполнение литейных полостей снизу вверх (рис. 13.7, *а*).

Комбинированные литниковые системы (рис. 13.7, *б*) используют для высоких тонкостенных отливок, которые до некоторого уровня заливаются сначала снизу через сифонную систему, а затем включается дождевая система. Если использовать для получения таких отливок только дождевую литниковую систему, то возникнет опасность разрушения форм из-за большого напора металла.

Рассмотрим подробнее назначение элементов литниковых систем. Основное назначение литниковых воронки и чаши — облегчить попадание в стояк струи металла. Применение литниковой воронки или литниковой чаши зависит от расхода металла в литниковой системе. При расходах, меньших или равных 5 кг/с для чугуна или 0,725 л/с для любого сплава, применяют литниковую

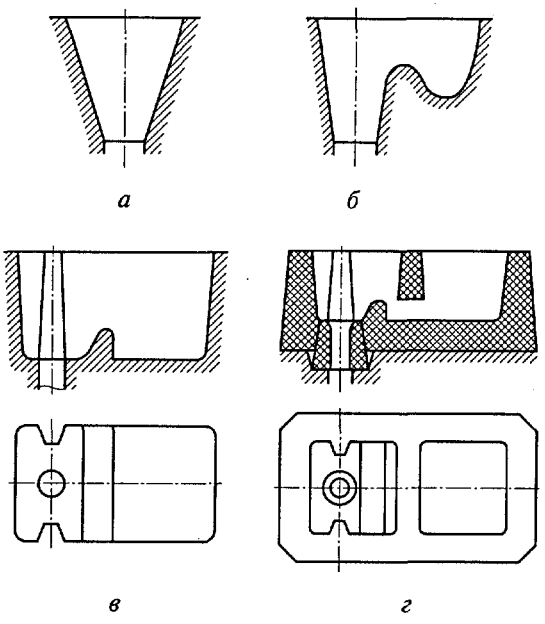


Рис. 13.8. Литниковые воронки и чаши:

а — воронка; *б* — воронка ручного изготовления; *в* — отформованная чаша с порогом; *г* — чаша-нарощалка с порогом и перегородкой

воронку (рис. 13.8, *а*, *б*), а при бóльших расходах — литниковые чаши (рис. 13.8, *в*, *г*). При машинной формовке литниковая воронка представляет собой усеченный конус (см. рис. 13.8, *а*), который формуется в верхней полуформе моделью, закрепленной на прессовой плите.

При ручной формовке вырезают гладилкой воронку, придавая ей форму чаши (см. рис. 13.8, *б*). В любом случае при заливке стремятся к тому, чтобы струя металла была направлена на стенку воронки или чаши, так как в противном случае струя металла будет ударяться о форму в конце стояка и вызовет разбрызгивание и завихрения металла.

Литниковые чаши при расходах металла, меньших или равных 10 кг/с для чугуна или 1,5 л/с для всех сплавов, также формуются в верхней опоке (см. рис. 13.8, *в*). При бóльших расходах используют чаши-нарощалки, сделанные из стержневой смеси в специальных стержневых ящиках (см. рис. 13.8, *г*). Для соединения стояка и чаши-нарощалки применяется стакан, также сделанный из стержневой смеси или керамики.

В формуемых в верхних опоках чашах предусматривается порог, который устраняет зависимость расхода от высоты падающей струи (энергия струи воспринимается дном чаши), способствует всплыва-

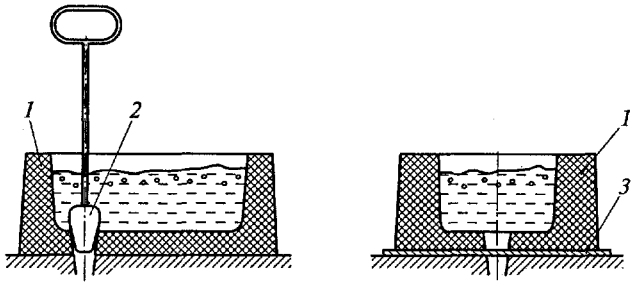


Рис. 13.9. Специальные литниковые чаши-нарощалки с пробкой (*а*) и листом жести (*б*):

1 — чаша-нарощалка; *2* — пробка; *3* — лист жести

нию шлака и наряду с двумя вертикальными ребрами служит хорошим средством защиты против образования вихревых воронок.

В чашах-нарощалках кроме названных двух элементов (порога и вертикальных ребер) делают перегородку, разделяющую чашу на две секции: приемную и шлакоулавливающую.

Конструкции воронок и чаш, размеры которых приведены во многих справочниках и учебниках, отработаны профессором Б. В. Рабиновичем в процессе моделирования с соблюдением всех критериев подобия (подробное описание см. в работе [38]).

Для случаев, когда шлаковые частицы не должны попасть в отливку даже в первые моменты (например, при заливке индивидуально отливаемых поршневых колец), для чаш-нарощалок используют пробки, вынимаемые к концу заливки чаши и всплытия шлака (рис. 13.9, *а*), или на форму под чашу-нарощалку укладывают лист жести, который расплавляется к концу наполнения чаши и освобождает отверстие стояка (рис. 13.9, *б*).

Стояк представляет собой вертикальный (рис. 13.10, *а*, *б*), наклонный (рис. 13.10, *в*), зигзагообразный (рис. 13.10, *г*) канал или канал в виде «гусиной шейки» (рис. 13.10, *д*), по которому металл опускается от уровня воронки (чаши) до уровня, на котором он подводится к отливке. Стояк необходим во всех случаях, когда формы заполняются под действием силы тяжести.

Вертикальный цилиндрический стояк встречается наиболее часто. При ручной формовке он суживается книзу за счет литейного уклона. При машинной формовке он крепится к модельной плите и суживается кверху также за счет литейного уклона. Такими вертикальные цилиндрические стояки делаются из-за простоты изготовления. Правильнее же продольное сечение стояка выполнять по форме свободно падающей (например, из крана) струи (рис. 13.10, *е*). В этом случае при переходе металла из чаши (воронки) в стояк не возникает разрежение и отсутствует подсос воздуха.

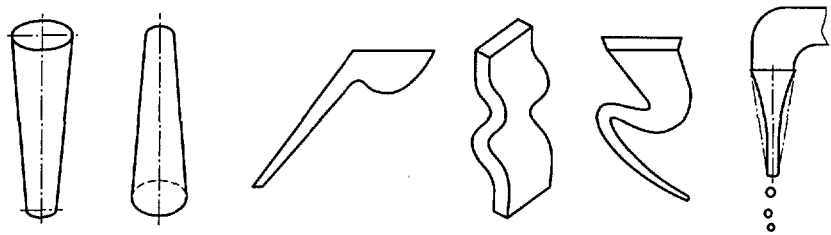


Рис. 13.10. Виды стояков:

а — вертикальный с уклоном; *б* — вертикальный с обратным уклоном; *в* — наклонный; *г* — зигзагообразный; *д* — «гусиная шейка»; *е* — продольное сечение стояка в виде свободно падающей струи

Выше речь шла о заполненном стояке, который встречается наиболее часто. Реже применяются незаполненные стояки. Заливку формы при этом необходимо организовывать таким образом, чтобы металл стекал по стенке стояка. В этом случае металл меньше разбрызгивается и окисляется, чем при свободно падающей струе.

В незаполненных стояках происходит отшлаковывание металла, и истечение металла из них происходит с небольшими скоростями в соответствии с малым напором.

В заполненных стояках шлак не задерживается, так как скорость потока расплава в них в несколько раз больше, чем скорость всплывания шлаков. Для снижения скорости в некоторых случаях заполненные стояки выполняют наклонными или зигзагообразными (см. рис. 13.10, *в*, *г*).

Конструкция перехода из стояка в шлакоуловитель должна обеспечить смягчение удара расплава о дно стояка и плавное введение расплава в шлакоуловитель, в котором происходит улавливание шлака, если его плотность меньше, чем плотность собственно расплава. Шлаковая частица движется вместе с потоком и одновременно всплывает. Поэтому при конструировании шлакоуловителя и питателя должны выполняться два следующих требования: 1) питатель должен быть расположен на расстоянии, не меньшем, чем расстояние всплытия шлака до потолка канала и его приклеивания к потолку шлакоуловителя; 2) соотношение высоты питателя и шлакоуловителя должно отвечать неравенствам: $R_{пит}/R_{шл} \le 1/5$ для чугуна и $R_{пит}/R_{шл} \le 1/3{,}25$ для алюминиевых сплавов, в противном случае шлаковая частица может оказаться затянутой в питатель.

На практике обычно поперечное сечение шлакоуловителя одинаковое на всей его длине. В соответствии с постепенно уменьшающимся расходом из шлакоуловителя с несколько последовательно расположенными питателями поперечное сечение следовало бы

выполнить постепенно уменьшающимся, однако при этом возрастет скорость потока и ухудшатся условия отделения шлака, включая его затягивание в питатель.

На практике питатели часто выполняют накладными (шлакоуловитель расположен в верхней полуформе, а питатель в нижней), хотя имеются рекомендации [15], по которым питатели и шлакоуловители должны быть расположены в одной полуформе, включая случай, когда часть шлакоуловителя (0,2...0,3 его высоты) находилась бы в нижней полуформе.

Следует обратить внимание на то, что понятие «питатель» в русскоязычной и англо-немецкоязычной литературе наполнено разным смыслом. В англо-немецкоязычной литературе «питатель» — это прибыль, которая питает отливку, компенсируя усадку. По этому поводу еще в 1950-е гг. А. Г. Спасский [40] указывал на несоответствие термина «питатель» в русском языке его назначению (ввод металла в полость формы из подводящих каналов) и предлагал называть этот канал «литником». Однако термин «питатель» прижился, несмотря на то, что при подводе металла через проливную боковую прибыль «питателем» называется канал, подводящий металл в прибыль, а не в форму. Прибыль при этом соединяется с отливкой шейкой.

Улавливание шлака может осуществляться другими элементами, в частности, центробежным шлакоуловителем, подвод и отвод металла из которого осуществляется по касательной, металл при этом закручивается, облегчая всплывание шлаковых частиц. Центробежный шлакоуловитель является обязательным элементом при модифицировании высокопрочного чугуна магниевой лигатурой в литейной форме и располагается сразу после реакционной камеры для улавливания нерастворившихся частиц модификатора и продуктов его взаимодействия, уносимых металлом при его протекании через реакционную камеру. Процесс модифицирования чугуна в литейной форме назван «Inmold-процессом». Дробленую лигатуру засыпают в реакционную камеру, расположенную в нижней полуформе. На автоматических формовочных линиях операция засыпки автоматизирована. По сравнению с модифицированием чугуна в ковше при Inmold-процессе исключается отжиг отливок, улучшается их обрабатываемость за счет уменьшения твердости с НВ 190...217 до НВ 160...180, увеличивается коэффициент усвоения магния из лигатуры с 50 до 80...90 %, за счет чего уменьшается расход лигатуры (от 1,4 до 0,6 % массы заливаемого металла), устраняется возврат ковшей с модифицированным металлом с линии формовки в печь из-за кратковременности действия модификатора, на 30...40 % уменьшается масса прибылей.

Однако точность отливок, изготовленных Inmold-процессом, ниже на один-два класса из-за влияния и нестабильности новых

факторов, появляющихся при модифицировании в форме. Кроме того, модельно-стержневую оснастку, сделанную для ковшового модифицирования, необходимо подвергнуть переделке, так как линейная усадка отливок в случае модифицирования в форме на 0,20...0,25 % больше, чем при ковшовом модифицировании.

Для очистки металла от неметаллических включений малого размера, попавших в металл ранее и образующихся в процессе растворения модификатора, после реакционной камеры в после-

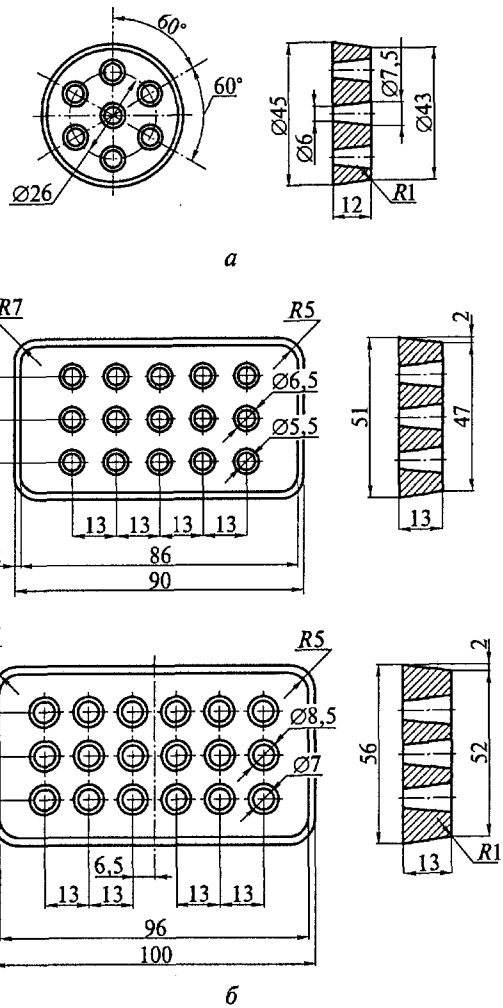


Рис. 13.11. Керамические сетки:

а — круглая; *б* — прямоугольные с диаметром отверстий 5,5 и 7 мм

дние годы устанавливают керамические фильтры (пенофильтры), на стенках сложных каналов которых включения адсорбируются и расход через них в процессе заливки уменьшается.

В сужающихся литниковых системах обеспечивается положительное давление металла на стенки каналов и не возникают явления разрежения и подсоса газов и воздуха. Однако металл при этом поступает в полость формы с большими скоростями (эффект брандспойта), что может привести к размыву формы или стержня. Для создания положительного давления и устранения эффекта брандспойта в литниковой системе устанавливают местные сопротивления (дроссели или пережимы), которые чаще всего располагают под стояком или при переходе от стояка к шлакоуловителю.

Дроссели и пережимы кроме отмеченных выше положительных достоинств обеспечивают более качественное отделение шлака за счет восходящего потока от данного сопротивления к шлакоуловителю. Местное сопротивление может быть выполнено в виде горизонтальной или вертикальной щели. Предпочтение следует отдать вертикальной щели (дросселю), так как неточности, возникающие из-за разъема формы (а дроссель располагают на разъеме), существенно меньше влияют на расход при вертикальном расположении щели. Названное утверждение легче понять, если допуск, например 1 мм, отнести к толщине щели 4 мм при горизонтальном расположении дросселя или к высоте пера 20 мм при вертикальном его расположении.

В качестве местного сопротивления могут быть использованы сетки-фильтры. Для алюминиевых и магниевых сплавов сетки представляют собой железные пластины с пробитыми в них отверстиями диаметром 2...3 мм, которые занимают 0,5...0,7 площади сетки. Для чугуна, бронзы и стали применяются сетки, сделанные из стержневой смеси или керамики. Толщина сеток 10...15 мм, диаметр отверстий 6...12 мм (рис. 13.11). Чаще всего сетки ставят под стояком. Удержание шлака сетками с довольно значительными отверстиями основано на том, что после сетки возникают расшире-

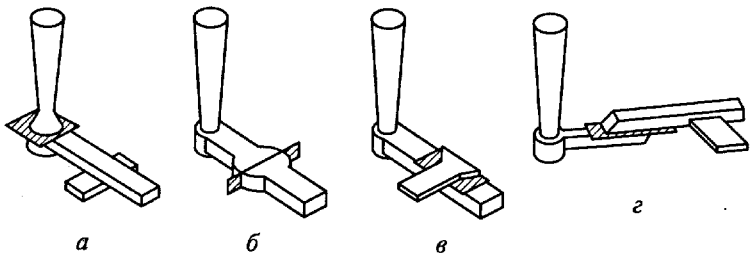


Рис. 13.12. Схемы установки сетки из стеклоткани:

а — под стояком; *б* — на шлакоуловителе (вертикально); *в* — между шлакоуловителем и питателем; *г* — на шлакоуловителе (горизонтально)

ние потока, уменьшение скорости и происходят всплывание шлаковых частиц и задержание шлака за сеткой в шлакоуловителе. Размеры сеток приведены в табл. 13.5 (см. подразд. 13.2.4).

Для отливок из чугуна и цветных сплавов используют также сетки из стеклоткани впервые примененной в отечественной промышленности (так называемый «Фирам-процесс»). Стеклоткань может размещаться в разных местах литниковой системы (рис. 13.12).

13.2. РАСЧЕТ СУЖАЮЩИХСЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

В настоящее время имеются пакеты прикладных программ для ЭВМ (чаще рабочих станций) для решения трехмерной гидравлической и тепловой задач заполнения литейной формы и охлаждения расплава в литниковой системе. Однако они могут быть использованы только для уже спроектированной (рассчитанной) литниковой системы. Поэтому необходим инженерный метод расчета элементов литниковой системы.

К расчету элементов литниковой системы обычно приступают после разработки технологического процесса изготовления отливки и выбора конструкции литниковой системы.

13.2.1. Определение площади питателя (узкого сечения)

Для сужающихся и расширяющихся литниковых систем расчет начинается с определения суммарной площади $\sum F_{\text{пит}}$, см^2, питателей («узких элементов») по уравнению

$$\sum F_{\text{пит}} = \frac{1000 m_{\text{ф}}}{\mu \rho_{\text{м.ж}} \tau_{\text{зал.ф}} \sqrt{2gH_{\text{р}}}}, \qquad (13.1)$$

где $m_{\text{ф}}$ — металлоемкость формы, кг; μ — коэффициент расхода металла; $\rho_{\text{м.ж}}$ — плотность жидкого металла, г/см^3; $\tau_{\text{зал.ф}}$ — продолжительность заливки формы, с; g — ускорение силы тяжести, g = 9,81 см/с^2; $H_{\text{р}}$ — расчетный металлостатический напор, м.

На выборе значений величин, входящих в уравнение (13.1), следует остановиться подробнее.

Определение времени заливки и массы отливок в форме. В справочной и учебной литературе под величиной металлоемкости формы $m_{\text{ф}}$ (см. в уравнении (13.1)) чаще всего подразумевается масса отливки, реже масса отливок. Поскольку продолжительность операции заливки определяется по эмпирическим данным, наибольшую достоверность имеют уравнения, полученные обработкой данных по экспериментальному измерению времени заливки. К таким уравнениям в первую очередь следует отнести следующее:

$$\tau_{\text{зал.ф}} = 3,7\left(\sum m_{\text{о}}\right)^{0,38}, \qquad (13.2)$$

где $\tau_{зал.ф}$ — продолжительность заливки формы, с; $\sum m_o$ — масса отливок в форме, кг; 3,7 и 0,38 — эмпирические коэффициенты.

Уравнение (13.2) получено статистической обработкой обширных заводских данных для отливок из серого чугуна [38]. При обработке данных не принималась во внимание толщина стенок отливки. В то же время статистической обработкой данных показано [3], что для чугунных и стальных отливок между толщиной стенки h_o и массой m_o отливки также существует степенная зависимость $h_o = Am_o^b$ (см. уравнение (2.1)). С учетом этого справедливость уравнения (13.2) не вызывает сомнений.

Следует отметить значительные (более чем в два раза) колебания экспериментальных значений продолжительности заливки для

Таблица 13.1. **Сравнение действительных и расчетных значений продолжительности заливки формы $\tau_{зал.ф}$ для отливок из высокопрочного чугуна (ВЧ)**

Вид отливки из ВЧ (КамАЗ)	Масса отливок в форме m_o, кг	Число отливок в форме n	Металлоемкость формы $m_ф$, кг	Продолжительность заливки $\tau_{зал.ф}$, с		
				реальная	расчетная по уравнению	
					$\tau_{зал.ф} = 3,7m_ф^{0,38}$	$\tau_{зал.ф} = 3,7\left(\sum m_o\right)^{0,38}$
Ступица	25,0	6	214,0	25	28,4	24,8
Картер редуктора заднего моста	56,0	2	192,0	30	27,3	22,2
Ступица заднего колеса	44,5	4	352,0	37	34,3	26,5
Башмак рессоры	32,0	8	347,0	36	34,2	30,4
Ступица переднего колеса	33,4	4	202,0	30	27,8	23,8
Чашка дифференциала	10,4	6	115,6	21	22,5	17,8
Кронштейн крепления тормозной камеры	4,85	6	74,0	14	19,0	13,3
Кронштейн	9,2	4	85,0	17	20,0	14,6

одной и той же массы отливок в форме. Этот факт может быть связан с конфигурацией отливок, которая может сильно изменяться при одной и той же массе отливок. Кроме того, в зависимости (13.2) используется масса отливок в форме. При экспериментальных замерах измеряли продолжительность заливки и массу отливок в форме, однако продолжительность заливки зависит от металлоемкости формы особенно если выход годного колеблется в широких пределах, от 50 до 90 %.

Для обоснования последнего тезиса взяты данные литейного завода КамАЗ по продолжительности заливки отливок из высокопрочного чугуна с модифицированием в литейной форме при выходе годного от 43 до 74 %. Далее были проведены расчеты по уравнению (13.2) с использованием данных о массе отливок $\sum m_o$ в форме и массе заливаемого в форму металла, т. е. о металлоемкости формы. Результаты приведены в табл. 13.1.

Лучшее приближение к реальному дает расчет по уравнению (13.2), когда в него подставляется металлоемкость формы $m_ф$.

Перед расчетом литниковой системы величина $m_ф$ неизвестна, поэтому возможны два пути расчета:

- приблизительный — по коэффициенту K выхода годного и массе только отливок $\sum m_o$ определить $m_ф$ по уравнению $m_ф = \sum m_o / K$;
- методом последовательных приближений — на первом этапе принять $m_ф = \sum m_o$, затем рассчитать литниковую систему, найти ее массу $m_{л.с}$ и для второго приближения использовать $m_ф = \sum m_o + m_{л.с}$.

Как показано в работе [3], температуру заливки также можно ввести в уравнение (13.2), сделав допущение, что максимальная продолжительность заливки формы равна продолжительности отвода теплоты перегрева по уравнению

$$\tau_{зал.ф}^{max} = R^2 \left[\frac{c_l' \rho_l' (T_{зал} - T_л)}{1{,}13 b_2 (T_л - T_ф)} \right]^2, \qquad (13.3)$$

где R — приведенный размер отливки, м; c_l' и ρ_l' — соответственно теплоемкость, Дж/(кг·К), и плотность, кг/м^3, жидкого металла; $T_{зал}$, $T_л$, $T_ф$ — соответственно температура заливки, ликвидуса и формы, К; b_2 — коэффициент теплоаккумуляции формы, Вт·с$^{1/2}$/(м^2·К).

Учитывая, что большинство машиностроительных отливок являются плитами, приведенный размер $R = h_o/2$, где h_o — толщина отливки.

Принимая также $D = 6{,}75$ и $a = 0{,}2$ в уравнении связи между толщиной стенки отливки и ее массой (см. подразд. 2.2), уравнение (13.3) можно преобразовать к следующему виду:

$$\tau_{\text{зал.ф}} = 11,4 \cdot 10^{-6} \left[\frac{c_1' \rho_1' (T_{\text{зал}} - T_{\text{л}})}{1,13 b_2 (T_{\text{л}} - T_{\text{ф}})} \right]^2 m_{\text{о}}^{0,4}. \qquad (13.4)$$

Обозначая множитель перед $m_{\text{о}}^{0,4}$ буквой A_i, получим уравнение, аналогичное уравнению (13.2):

$$\tau_{\text{зал.ф}} = A_i m_{\text{о}}^{0,4}. \qquad (13.5)$$

Следует отметить, что величина A_i является функцией $T_{\text{зал}}$. Расчеты по уравнению (13.4) показали, что, например, при колебаниях температуры заливки на 100... 150 °С (в 1,5 раза), если их учитывать при назначении продолжительности заливки, оно (время) может изменяться в 2,25 раза. Таким образом, колебания продолжительности заливки более чем в 2 раза определяются изменением температуры заливки.

Обработкой данных из работы [38] удалось уравнение (13.2) применить наряду с серым чугуном и для других сплавов. В частности, для наиболее распространенных сплавов получены следующие значения постоянного множителя в уравнении (13.2):

СЧ, ВЧ, БЧ	Углеродистая сталь	Al-сплавы	Mg-сплавы	Cu-сплавы
3,7	2,4	4,5	5,0	3,5

Определение расчетного металлостатического напора. Общим при заливке литейной формы является случай заполнения под «затопленный уровень», когда часть отливки находится в верхней полуформе и заполнение происходит при переменном напоре (рис. 13.13).

Наиболее хорошее приближение дает использование постоянного расчетного напора $H_{\text{р}}$, который определяется из условия равенства работы по уравнению

$$m_{\text{о}} H_{\text{р}} = m_{\text{о.н}} H + m_{\text{о.в}} (H - \frac{h_{\text{о.в}}}{2})$$

или

$$H_{\text{р}} = \frac{1}{m_{\text{о}}} (m_{\text{о.н}} H + m_{\text{о.в}} H - m_{\text{о.в}} \frac{h_{\text{о.в}}}{2}),$$

где $m_{\text{о}}$ — масса отливки, кг; $m_{\text{о.н}}$, $m_{\text{о.в}}$ — соответственно масса отливки в нижней и верхней полуформах, кг; H — металлостатический напор (расстояние от уровня металла в чаше-воронке до уровня питателя), см; $h_{\text{о.в}}$ — высота отливки в верхней полуформе, см.

Если вся отливка в нижней полуформе, то $m_{\text{о.в}} = 0$, $h_{\text{о.в}} = 0$, $m_{\text{о}} = m_{\text{о.н}}$ и $H_{\text{р}} = H$. Если вся отливка находится в верхней полуформе, то $m_{\text{о.н}} = 0$, $m_{\text{о}} = m_{\text{о.в}}$ и $H_{\text{р}} = H - h_{\text{о.в}}/2$.

Определение коэффициента расхода. Расчетное определение коэффициента расхода, с одной стороны, связано с необходимос-

тью использования эмпирических данных из справочников по гидравлике, а с другой, приводит к необходимости применения метода последовательных приближений при расчете литниковых систем. Для определения коэффициента расхода по справочным данным необходимо знание размеров сечений литниковых систем и их длин. Поэтому сначала задают коэффициенты расхода для первого приближения и определяют все размеры всех элементов литниковой системы. Затем рассчитывают коэффициент расхода по справочным данным и размерам каналов, рассчитанным с использованием принятого в первом приближении коэффициента расхода. Расчеты повторяют до тех пор, пока вычисленные размеры каналов не станут различаться на заданную величину. Даже с применением ЭВМ расчетное определение коэффициента расхода остается трудоемким. Поэтому при расчете литниковой системы можно рекомендовать принимать $\mu = 0{,}4$ для сложных систем, $\mu = 0{,}5...0{,}6$ для литниковых систем средней сложности и $\mu = 0{,}6...0{,}8$ для простых систем [8, 10, 35].

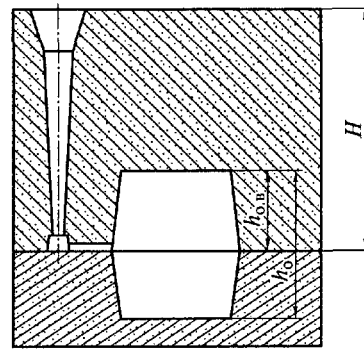


Рис. 13.13. Эскиз формы для расчета литниковой системы: H — металлостатический напор; h_o — высота отливки; $h_{o.в}$ — высота отливки в верхней полуформе

13.2.2. Определение площадей сечений других, кроме питателя, элементов

Вычислив площадь питателя, можно определить площади сечений других элементов. Для этого, как правило, используют соотношение

$$\sum F_{пит} : \sum F_1 : \sum F_2 : \sum F_3 : \sum F_4 = K_0 : K_1 : K_2 : K_3 : K_4. \quad (13.6)$$

Начальным (нулевым) значением является площадь узкого сечения (питателя) с коэффициентом K_0, равным единице. Коэффициенты $K_1 — K_4$ по разным данным изменяются в широких пределах. Наиболее часто можно встретить следующие значения коэффициентов:

$$K_0 = 1;\ K_1 = 1{,}1...1{,}2;\ K_2 = 1{,}15...1{,}30;\ K_3 = 1{,}20...1{,}40;$$
$$K_4 = 1{,}30...1{,}60.$$

При этом для значения K_1 выбирается любое из указанного интервала 1,1 ... 1,2, остальные коэффициенты определяются для своих диапазонов как прямо пропорциональные K_1.

Индексы у коэффициентов используются в соответствии с числом элементов литниковой системы. Наибольшее число элементов в литниковой системе — пять — будем использовать для литниковой системы с реакционной камерой и центробежным шлакоуловителем. Тогда соотношение (13.6) принимает следующий вид:

$$\sum F_{\text{пит}} = \sum F_{\text{вых.цб.ш}} : \sum F_{\text{вх.цб.ш}} : \sum F_{\text{вых.р.к}} : \sum F_{\text{вх.р.к}} =$$

$$= K_0 : K_1 : K_2 : K_3 : K_4 =$$

$$= 1 : (1{,}1...1{,}2) : (1{,}15...1{,}3) : (1{,}2...1{,}4) : (1{,}3...1{,}6),$$

где $\sum F_{\text{пит}} = \sum F_{\text{вых. цб.ш}}$ — площадь сечения выхода из центробежного шлакоуловителя, равная площади питателей; $\sum F_1 = \sum F_{\text{вх. цб.ш}}$ — площадь сечения входа в центробежный шлакоуловитель; $\sum F_2 = \sum F_{\text{вых. р.к}}$ — площадь сечения выхода из реакционной камеры; $\sum F_3 = \sum F_{\text{вх.р.к}}$ — площадь сечения входа в реакционную камеру; $\sum F_4 = \sum F_{\text{ст}}$ — площадь сечения стояка.

Для литниковых систем с другим (меньшим) числом элементов следует использовать те же коэффициенты в соответствии с их номерами или индексами. Например, если в литниковой системе нет реакционной камеры, то для $F_{\text{ст}}$ будет использоваться коэффициент K_2 (в предыдущем случае был K_4).

Следует иметь в виду, что при расчете площадей элементов литниковой системы можно площадь узкого сечения $\sum F_{\text{пит}}$ умножить на соответствующие коэффициенты. Однако следует помнить, что выше приведены соотношения суммарных площадей элементов. Поэтому предпочтительнее, особенно при последовательном (начиная от отливки) определении площадей сечений, пользоваться соотношением

$$\sum F_i = \frac{\sum F_{i-1}}{K_{i-1}} K_i,$$

где $\sum F_i$ — суммарная площадь сечения рассматриваемого элемента; $\sum F_{i-1}$ — суммарная площадь сечения предыдущего элемента; K_i, K_{i-1} — коэффициенты, соответствующие суммарным площадям.

13.2.3. Определение размеров сечений элементов литниковой системы

Определение размеров питателей и литниковых ходов. Размеры питателя при расчете зависят от того, куда он будет присоединен. В случае присоединения питателя к прибыли его сечение делается

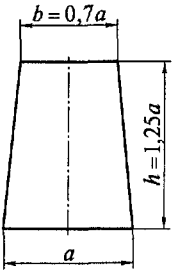


Рис. 13.14. Трапецеидальное сечение линейного шлакоуловителя, литникового хода и питателя в прибыль

компактным, трапецеидальным со следующими размерами: нижнее основание a, верхнее $b = 0{,}7a$, высота $h = 1{,}25a$ (рис. 13.14).

Тогда при известной площади сечения питателя его размеры, мм, можно вычислить из соотношений:

$$h = 10\sqrt{\sum F_{\text{пит}}/0{,}68}; \tag{13.7}$$

$$a = h/1{,}25; \tag{13.8}$$

$$b = 0{,}7a. \tag{13.9}$$

При присоединении питателя непосредственно к отливке его высота выбирается с учетом двух требований: с одной стороны, высота должна быть больше минимально допустимой, с другой, она должна быть для чугуна меньше $^1/_5$ высоты шлакоуловителя, а для алюминиевых сплавов меньше $^1/_{3,5}$ [15]. Эмпирическое уравнение для определения минимальной высоты питателя для чугунных отливок имеет вид

$$h_{\min} = 3{,}5 - 0{,}01\left[T_{\text{зал min}} - (1670 - 124C_{\text{экв}}) - 100\right],$$

где $h_{\min}$ — минимально возможная высота питателя, мм; $T_{\text{зал min}}$ — минимальная температура заливки, заданная в технологической карте, К; $1670 - 124C_{\text{экв}} = T_{\text{л}}$ — температура ликвидуса чугуна, К [17]; $C_{\text{экв}}$ — углеродный эквивалент.

При получении этого уравнения принято, что при перегреве в 100 К минимальная высота питателя равна 3,5 мм [39]. Очевидно, что при меньшем перегреве высота будет больше, а при большем — меньше.

По выбранной высоте питателя $h_{\text{пит}}$ его ширина $b_{\text{пит}}$ определяется из уравнения

$$b_{\text{пит}} = \frac{\sum F_{\text{пит}}}{n h_{\text{пит}}} 100,$$

где $\sum F_{\text{пит}}$ — площадь питателей для всех отливок, см^2; $b_{\text{пит}}$, $h_{\text{пит}}$ — соответственно ширина и высота одного питателя, мм; n — число питателей.

Высота сечения литникового хода, подводящего металл к питателям и являющегося линейным шлакоуловителем, определя-

ется из следующего условия: для отливок из чугуна $h_{л.х} \geq 5h_{пит}$, для отливок из алюминиевых сплавов $h_{л.х} \geq 3{,}5h_{пит}$.

Сечение литникового хода (шлакоуловителя) делается трапецеидальным с размерами нижнего (a) и верхнего (b) оснований, определяемыми по выражениям (13.7)—(13.9).

Кроме расчета размеров сечения литникового хода (шлакоуловителя) проводится проверка расстояния от стояка до первого питателя по уравнению

$$l_{р.п.п} = 17{,}5m_т / h_{л.х},$$

где $l_{р.п.п}$ — расчетное расстояние от стояка до первого питателя, мм; $m_т$ — средний массовый расход металла по рассматриваемому литниковому ходу (шлакоуловителю), кг; $h_{л.х}$ — высота литникового хода, мм.

Если фактическое (конструктивное) расстояние от стояка до первого питателя $l_{к.п.п}$ меньше расчетного, то необходимо сделать расчет высоты литникового хода при $l_{р.п.п} = l_{к.п.п}$ с последующим пересчетом размеров нижнего и верхнего оснований. Можно оставить $l_{к.п.п}$, но под стояк установить фильтровальную сетку (см. подразд. 3.6).

Определение размеров стояков и размеров чаш (воронок). После определения площади сечения стояка $F_{ст}$, см^2, его диаметр $d_{ст}$, мм, вычисляют по уравнению

$$d_{ст} = 20\sqrt{F_{ст}/\pi}. \qquad (13.10)$$

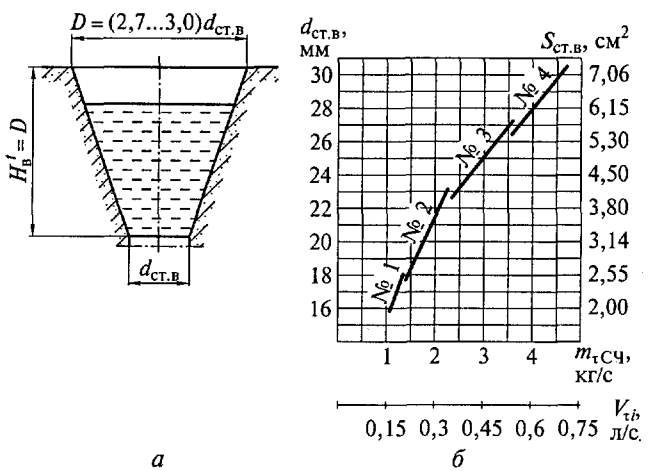


Рис. 13.15. Размеры литниковой воронки ($а$) и зависимости ($б$) диаметра стояка (нижнего сечения воронки) $d_{ст.в}$ и площади $S_{ст.в}$ его сечения от расхода $m_{тСЧ}$, $V_{тi}$ и номера воронки № 1—4

Таблица 13.2. **Размеры литниковых воронок (см. рис. 13.15, $а$) и масса чугуна в воронке**

Показатель*	Величина показателя для литниковых воронок			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
$d_{ст.в}$, мм (калибр)	18	23	27	30
D, мм	50	60	75	90
$H'_в$, мм	50	60	75	90
Масса чугуна в воронке, кг	0,3	0,6	1,1	1,9

* $d_{ст.в}$ — верхний диаметр стояка, $d_{ст.в} = d_{ст} \pm H\mathrm{tg}\alpha$; α — угол литейного уклона стояка; H — высота стояка; D — диаметр воронки; $H'_в$ — высота воронки.

Таблица 13.3. **Размеры чаш № 1—3, мм (см. рис. 13.16, $а$)**

Размер	№ 1	№ 2	№ 3	Размер	№ 1	№ 2	№ 3
	Калибр чаши $d_{ст.в}$, мм				Калибр чаши $d_{ст.в}$, мм		
	24	32	40		24	32	40
	Масса металла в чаше, кг				Масса металла в чаше, кг		
	4,5	15,0	21,5		4,5	15,0	21,5
a	144	192	240	$H'_ч$	80	105	130
b	84	112	140	i	3	4	5
c	48	65	80	p	34	45	56
e	24	32	40	k	20	26	32
f	5	6	8	k'	15	19	24
g	15	19	24	l	19	26	32
g'	10	13	16	m	12	16	20
				$R_{вх}$	6	8	10

Таблица 13.4. **Размеры чаш № 1—3, мм (см. рис. 13.17, $а$)**

Размер	№ 1	№ 2	№ 3	Размер	№ 1	№ 2	№ 3
	Калибр чаши $d_{ст.в}$, мм				Калибр чаши $d_{ст.в}$, мм		
	50	65	75		50	65	75
	Масса металла в чаше, кг				Масса металла в чаше, кг		
	68	156	231		68	156	231
a	200	260	300	k	55	72	83
b	215	280	320	l	55	75	83
c	200	260	300	m	32	42	48
D_1	97	118	133	n	45	75	90
D_2	10	135	150	o	30	60	60
e	48	62	70	p	50	70	70
f	8	10	12	s	40	52	60
g	190	246	285	t	25	32	38
$H'_ч$	160	210	240	u	30	40	45
i	75	97	112	v	15	20	22

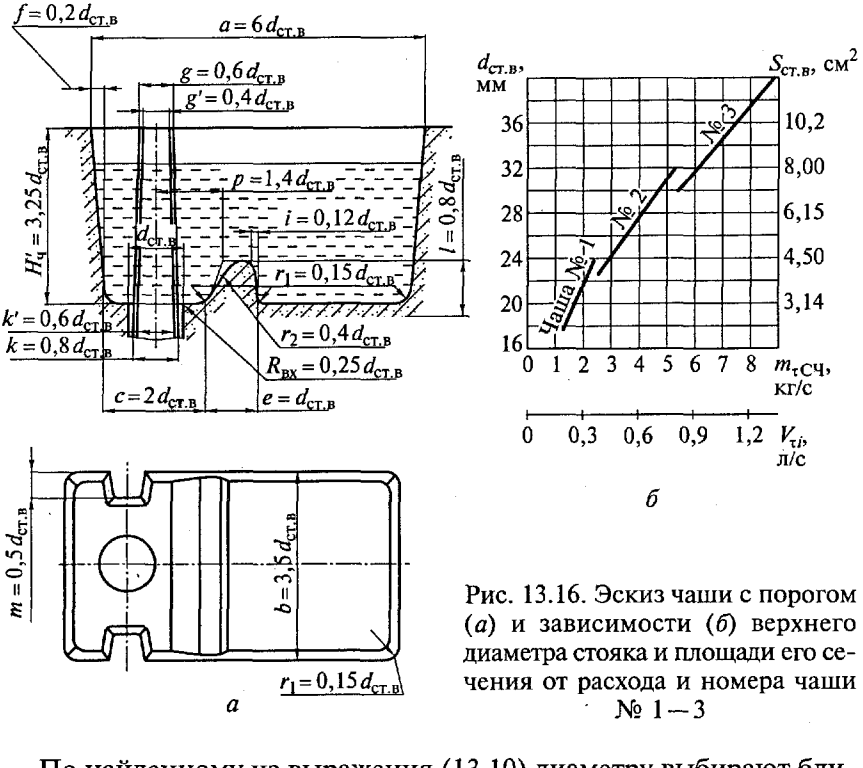


Рис. 13.16. Эскиз чаши с порогом (*а*) и зависимости (*б*) верхнего диаметра стояка и площади его сечения от расхода и номера чаши № 1—3

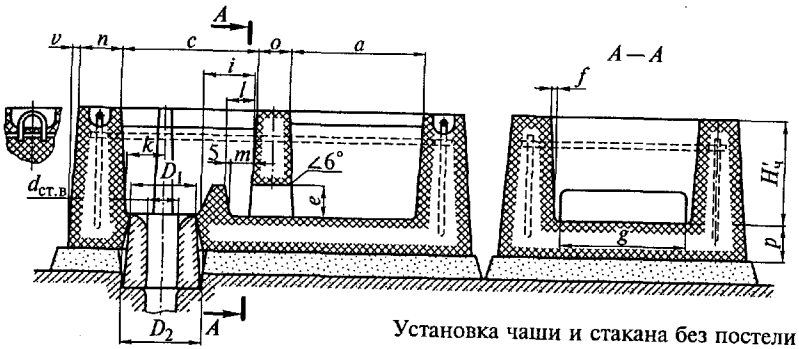
По найденному из выражения (13.10) диаметру выбирают ближайшее меньшее значение диаметра, при котором воронки и чаши удовлетворительно выполняют свои функции (табл. 13.2—13.4). Этот диаметр называют «калибром». К выбранной воронке (чаше) можно присоединять стояки меньших диаметров.

Размеры литниковых воронок (рис. 13.15, *а*) см. в табл. 13.2 [38, 41].

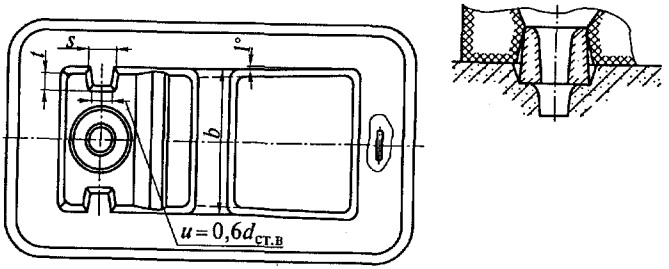
Воронки можно также выбирать по массовому или объемному расходу, используя график на рис. 13.15, *б*. На оси абсцисс приведены две шкалы: массового расхода $m_{τСЧ}$, кг/с, для чугуна и объемного расхода $V_τ$, л/с, для любого сплава. Следует обратить внимание, что приведенные в табл. 13.2 размеры воронок отработаны моделированием на воде для чугуна. Однако они могут быть использованы для любого другого сплава. Для пересчета на массу и массовый расход любого сплава следует использовать следующие уравнения:

$$m_i = \frac{m_{СЧ}}{\rho_{СЧ}};\ V_{τi} = \frac{m_{τСЧ}}{\rho_{СЧ}},$$

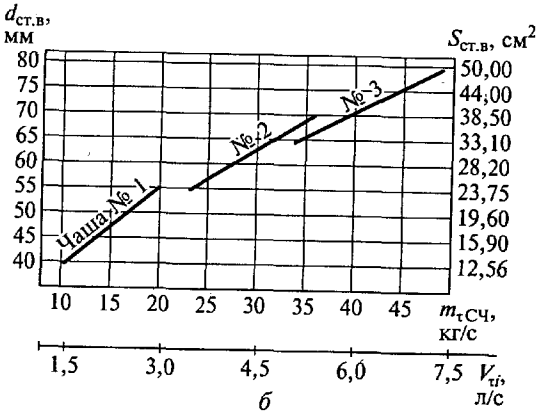
где m_i и $V_{τi}$ — соответственно массовый и объемный расход для i-го сплава; $m_{СЧ}$ и $m_{τСЧ}$ — то же, для серого чугуна; $\rho_{СЧ}$ — плотность серого чугуна, равная 6900 кг/м^3.



Установка чаши и стакана без постели



а



б

Рис. 13.17. Эскиз чаши-нарощалки (*а*) и зависимости (*б*) верхнего диаметра стояка и площади его сечения от расхода и номера чаши с порогом и перегородкой № 1—3

Определение размеров формуемых чаш с порогом (рис. 13.16, *а*) и чаш с перегородкой и порогом (рис. 13.17, *а*) для чугуна можно осуществить соответственно по данным табл. 13.3 и 13.4 [38, 41]. Номера чаш можно определить по графикам соответственно на рис. 13.16, *б* и 13.17, *б*.

13.2.4. Определение площадей сечений и размеров других, кроме питателей и литниковых ходов, элементов литниковой системы

Определение размеров центробежного шлакоуловителя. По методике расчета литниковой системы, разработанной на КамАЗе [10], площадь сечения центробежного шлакоуловителя $F_{\text{цб.ш}}$, см^2, определяется по эмпирическому уравнению

$$F_{\text{цб.ш}} = 6F_{\text{вх.цб.ш}},$$

где $F_{\text{вх.цб.ш}}$ — площадь сечения входа в центробежный шлакоуловитель, см^2.

Другие параметры центробежного шлакоуловителя определяются по следующим уравнениям:

$$d_{\text{цб.ш}} = 20\sqrt{F_{\text{цб.ш}}/\pi};$$

$$V_{\text{цб.ш}} = (d_{\text{цб.ш}}/10)^3; \qquad (13.11)$$

$$m_{\text{цб.ш}} = V_{\text{цб.ш}}\rho_{\text{м.ж}}/1000,$$

где $d_{\text{цб.ш}}$, $V_{\text{цб.ш}}$, $m_{\text{цб.ш}}$ — соответственно диаметр, мм, объем, см^3, и масса, кг, центробежного шлакоуловителя.

Уравнение (13.11) получено для центробежного шлакоуловителя, формы и размеры которого приведены на рис. 13.18.

Определение площади сечения, размеров и объема реакционных камер. За основу при расчете размеров реакционной камеры была принята методика, разработанная на КамАЗе [15]. Сначала рассчитываются все элементы по приведенным выше уравнениям в соответствии с конструкцией литниковой системы. Далее определяются коэффициент расхода модификатора и металлоемкость формы. Коэффициент расхода модификатора $K_{\text{мдф}}$ часто назначается технологом в интервале значений 0,06...0,10. При определении коэффициента расхода следует учитывают процентное содержание серы $S_{\text{исх}}$, исходное процентное содержание магния $Mg_{\text{исх}}$ в модификаторе и остаточное процентное содержание $Mg_{\text{ост}}$ в отливке по уравнению

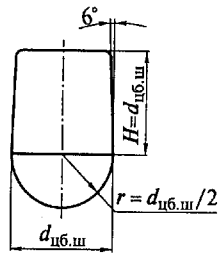
$$K_{\text{мдф}} = (0,76S_{\text{исх}} + Mg_{\text{ост}})/Mg_{\text{исх}}.$$

Металлоемкость формы находят как сумму

$$m_{\text{ф}} = \sum m_{\text{о}} + \sum m_{\text{пр}} + \sum m_{\text{цб.ш}} + m_{\text{ст}} + m_{\text{ч}} + \sum m_{\text{р.к}},$$

в которой учтена масса всех элементов, а именно масса отливок в форме $\sum m_{\text{о}}$, масса прибылей $\sum m_{\text{пр}}$, масса центробежных шлакоуловителей $\sum m_{\text{цб.ш}}$, масса стояка $m_{\text{ст}}$, масса чаши $m_{\text{ч}}$ и масса реакционных камер $\sum m_{\text{р.к}}$. Неизвестной является только масса реакционных камер, которую по опытным данным можно при-

Рис. 13.18. Эскиз центробежного шлакоуловителя:
$d_{цб.ш}$, H — соответственно диаметр и высота шлакоуловителя; r — радиус полусферы



нять равной около 4% металлоемкости формы. Из практики известно, что модифицирование чугуна происходит во всех элементах литниковой системы, поэтому масса модификатора определяется по следующему уравнению:

$$m_{мдф} = K_{мдф} m_{ф}. \qquad (13.12)$$

По насыпной массе модификатора $\rho_{мдф}$ определяют его объем $V_{мдф}$ и площадь сечения $F_{р.к}$ одной реакционной камеры по уравнениям:

$$V_{мдф} = m_{мдф}/(n\rho_{мдф});$$

$$F_{р.к} = \frac{m_{ф}}{n\tau_{зал.ф} f}, \qquad (13.13)$$

где n — число одинаковых реакционных камер; $\tau_{зал.ф}$ — время заливки формы, с; f — фактор растворения, кг/(с·см^2).

Для модификатора ФСМг5 принимается $f = 0{,}0525$. При этом химический состав модификатора по ТУ 14-5-134—86 следующий, %: Mg 4,5...6,5, Si 45...55, РЗМ 0,2...1, Al менее 0,2, Fe остальное. Размеры частиц дробленого модификатора 1...4 мм ($\rho_{мдф}$ = = 2 г/см^3) или 0,5...4,0 мм ($\rho_{мдф}$ = 2,2 г/см^3).

В других случаях для других модификаторов фактор растворения определяется экспериментально. Продолжительность заливки определяется, как описано в подразд. 13.2.1.

Уравнение (13.13) справедливо при симметричном расположении одинаковых реакционных камер (при одинаковых отливках на модельной плите).

При неодинаковых отливках и разных реакционных камерах массу модификатора, найденную по уравнению (13.12), распределяют пропорционально массе металла, относящейся к каждой камере.

Высота, мм, слоя модификатора в реакционной камере определяется как частное от деления объема модификатора $V_{мдф}$ на площадь реакционной камеры $F_{р.к}$:

$$h_{мдф} = 10 V_{мдф}/F_{р.к}.$$

Для определения массы металла в реакционной камере необходимо кроме площади $F_{р.к}$ знать ее высоту $h_{р.к}$, мм:

$$h_{р.к} = h_{мдф} + h_{вх.р.к} + h_{тех},$$

где $h_{мдф}$ — высота слоя модификатора; $h_{вх.р.к}$ — высота входа в -ю реакционную камеру; $h_{тех}$ — высота технологическая, равная 0...20 мм.

Величину $h_{\text{вх.р.к}}$ следует определять по вычисленной ранее (см. подразд. 13.2.2) $F_{\text{вх.р.к}}$ — площади сечения входа в реакционную камеру:

$$h_{\text{вх.р.х}} = 100\,F_{\text{вх.р.к}}/b_{\text{вх.р.к}},$$

где $b_{\text{вх.р.к}} = 8\sqrt{F_{\text{р.к}}}$ — ширина входа в реакционную камеру, мм.

Объем реакционной камеры, см^3:

$$V_{\text{р.к}} = F_{\text{р.к}}h_{\text{р.к}}/10.$$

Масса металла в объеме реакционной камеры (после заливки)

$$m_{\text{р.к}} = V_{\text{р.к}}\rho_{\text{м.ж}}/1000.$$

Ранее в подразд. 13.2.2 было определено $F_{\text{вых.р.к}}$ (площадь выхода из реакционной камеры). Размеры сечения следует определять из уравнений:

длина выхода

$$l_{\text{вых.р.к}} = 0,8\sqrt{F_{\text{р.к}}};$$

ширина выхода

$$b_{\text{вых.р.к}} = 100F_{\text{вых.р.к}}/l_{\text{вых.р.к}}.$$

Эскиз литниковой системы с двумя одинаковыми реакционными камерами приведен на рис. 13.2.

Определение размеров фильтровальной сетки. При использовании фильтровальной сетки площадь ее сечения рассчитывают по уравнению

$$F_{\text{р.с}} = 1,1F_{\text{пр.сеч}},$$

где $F_{\text{р.с}}$ — расчетная площадь живого сечения сетки, см^2; $F_{\text{пр.сеч}}$ — площадь сечения предыдущего элемента сечения литниковой системы (по ходу металла), см^2.

Таблица 13.5. **Размеры нормализованных керамических сеток (фильтров) (опыт КамАЗа)**

Сетка (фильтр)	$F_{\text{т.с}}$, см^2	Минимальный диаметр отверстия $d^{\min}_{\text{сетки}}$, мм	Число отверстий	Максимальный диаметр сетки $D^{\max}_{\text{сетки}}$, мм
№ 1	8,21	6,6	24	80,0
№ 2	8,13	3,0	115	90,5
№ 3	3,17	3,0	45	69,5
№ 4	11,78	5,0	60	90,5
№ 5	4,32	4,6	26	69,5
№ 6	4,24	6,0	15	50,0

Как правило, сетка устанавливается под стояк или под центробежный шлакоуловитель (особенно при модифицировании чугуна в форме). По расчетной площади живого сечения подбирают ближайшую бóльшую по площади сечения сетку из условия

$$F_{\text{р.с}} < F_{\text{т.с}},$$

где $F_{\text{т.с}}$ — табличное значение площади, см^2, живого сечения сетки (табл. 13.5).

Выбор и расчет дросселей («пережимов»). Дроссель является местным сопротивлением, находящимся внутри литниковой системы и имеющим минимальную площадь сечения из всех ее элементов.

Основное назначение дросселя — уменьшение входной скорости металла в полость литейной формы (устранение эффекта брандспойта), поэтому площадь сечения питателя должна быть больше площади сечения дросселя. Различают вертикальный дроссель как специальный элемент литниковой системы с вертикальным «пером» и вертикальный и горизонтальный пережимы, предусматриваемые на канале литниковой системы, присоединенном непосредственно к стояку.

Для расчетов площади сечения вертикального дросселя следует использовать экспериментальные данные, полученные гидромоделированием [38, 41]. Площади сечения вертикального и горизонтального пережимов затем следует приравнивать площади сечения вертикального дросселя.

При расчете вертикального дросселя сначала выбирается тип дросселя: односторонний одноходовой, односторонний двухходовой, односторонний трехходовой, двусторонний одноходовой, двусторонний двухходовой, крестообразный (четырехсторонний одноходовой). Может быть также выбрана сетка с дросселем (одно- или двусторонним).

Расчет литниковой системы, который описан выше, остается таким же, только при его выполнении наряду с площадями сечений и их размерами вычисляется средний массовый расход через эти сечения.

При расчете вертикальных дросселей выбирают максимальный массовый расход $m_{\text{тдр max}}$ через один из каналов, присоединенных к стояку. Затем определяют максимальный суммарный массовый расход $\sum m_{\text{тдр max}}$ через дроссель по уравнению

$$\sum m_{\text{тдр max}} = m_{\text{тдр max}} K_{\text{др}},$$

где $K_{\text{др}}$ — число сторон выбранного дросселя.

По значениям $\sum m_{\text{тдр max}}$ и $H_{\text{др.расч}}$ (расчетному напору для дросселя), используя графические зависимости [38, 41], находят суммарную площадь сечения $\sum F_{\text{др.расч}}$ и выбирают по справочным таблицам [41] ближайшее большее значение $\sum F_{\text{др.табл}}$, номер дрос-

селя, размеры пера a_1, b_1, c_1 и другие размеры дросселя. Можно также кривые на графиках аппроксимировать уравнением квадратного многочлена.

Расчетный напор $H_{\text{др.расч}}$ при нахождении дросселя определяется по уравнению

$$H_{\text{др.расч}} = H_{\text{р}} - h_{ni},$$

где $H_{\text{р}}$ — расчетный напор, см; $h_{\text{п}i}$ — пьезометрический напор в шлакоуловителе, см, $h_{\text{п}i} = 2,63 + 0,07F_{\text{шл}}$, $F_{\text{шл}}$ — площадь сечения шлакоуловителя, см^2.

Если каналы, присоединенные к стояку, имеют разные площади сечений, а следовательно, и разные расходы металла, то, оставляя те же размеры a_1, b_1, пересчитывают высоту пера дросселя соответствующего канала i по уравнению

$$c_i = c_1 \frac{m_{\text{т}i}}{m_{\text{тдр max}}}.$$

Если система содержит три канала, присоединенных к стояку, то выбирается крестообразный дроссель. Далее графически по кривым (или уравнениям регрессии) определяют параметры крестообразного дросселя, но используют трехсторонний одноходовой дроссель (четвертый ход «отрезается»). Аналогично проводится расчет сетки с дросселем. Если вместо вертикального дросселя применяют пережимы, то в любом случае сначала находят $\sum F_{\text{др.расч}}$, затем $\sum F_{\text{др.табл}}$. Принимают, что суммарная площадь дросселя равна суммарной площади пережимов, т.е.

$$\sum F_{\text{др.табл}} = \sum F_{\text{пржм}}.$$

В соответствии со средними массовыми расходами в каналах литниковой системы, присоединенных к стояку, определяют $F_{\text{пржм}}$ каждого канала.

Если пережим горизонтальный, то рассчитывают высоту $h_{\text{пржм}}$, мм, пережима по уравнению:

$$h_{\text{пржм}} = 100\,F_{\text{пржм}}/b,$$

где b — ширина канала, мм, на котором делают пережим.

Если пережим вертикальный, то определяют ширину $b_{\text{пржм}}$, мм, пережима по уравнению

$$b_{\text{пржм}} = 100\,F_{\text{пржм}}/h,$$

где h — высота, мм, канала, на котором делают пережим.

13.3. РАСЧЕТ РАСШИРЯЮЩИХСЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

У расширяющихся литниковых систем также имеется узкое сечение. Оно, как правило, находится в верхнем или нижнем сечении стояка. Площадь узкого сечения рассчитывается по уравне-

нию (13.1). При этом учитываются все пояснения, которые даны выше. Единственным отличием является выбор коэффициентов K_i соотношения площадей элементов литниковой системы. Для литниковой системы с центробежным шлакоуловителем можно рекомендовать следующие соотношения площадей сечений элементов: $K_3 : K_2 : K_1 : K_0 = (1{,}2 \ldots 1{,}4) : (1{,}15 \ldots 1{,}3) : (1{,}1 \ldots 1{,}2) : 1$, где индексами обозначены элементы системы: 3 — выход из центробежного шлакоуловителя (питатель); 2 — вход в центробежный шлакоуловитель; 1 — литниковый ход; 0 — стояк (узкое сечение). Следовательно, соотношения площадей сечений элементов необходимо принять обратными по отношению к сужающейся литниковой системе.

В общем случае соотношения площадей сечений элементов следует принимать из практических данных конкретного предприятия, их значения могут колебаться в довольно широких пределах.

13.4. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ И ДРУГИХ СПЛАВОВ, СКЛОННЫХ К ПЛЕНООБРАЗОВАНИЮ

Алюминиевые, магниевые, некоторые медные сплавы, а также легированные стали склоны к образованию плен, окислению и вспениванию. Задача технологов обеспечить минимально допустимую степень турбулентности потока при течении металла по каналам литниковых систем и в полости формы с целью предотвращения образования названных выше явлений. Для выполнения этого требования для отливок из указанных сплавов используют расширяющиеся литниковые системы, которые обеспечивают спокойное заполнение литейной формы. При этом скорость потока металла в стояке (узком сечении) не должна превышать максимально допустимую, значения которой для стояков разных диаметров и отливок из алюминиевых сплавов приведены в табл. 13.6.

Последовательность расчета литниковой системы для отливок из алюминиевых сплавов может быть принята следующей:

1) определяют суммарную площадь $\sum F_{ст}$ сечения стояков (узкого сечения) по уравнению (13.1). При этом продолжительность заливки $\tau_{зал.ф}$ вычисляют по эмпирическому уравнению, аналогичному уравнению (13.2):

$$\tau_{зал.ф} = 4{,}5\ m_{ф}^{0{,}38};$$

2) определяют скорость $v_{ст}$ потока металла в стояке по уравнению

$$v_{ст} = \mu\sqrt{2gH},$$

где $\mu = 0{,}55 \ldots 0{,}8$; H — металлостатический напор (высота стояка;

Таблица 13.6. **Максимально допустимые скорости потока в стояках, рекомендованные для высот и масс отливок из Al-сплавов**

H'_o, мм	m'_o, кг	Круглые стояки		Прямоугольные стояки	
		$d_{ст.н}$, мм	$v_{ст\,max}$, см/с	$a \times b$, мм	$v_{ст\,max}$, см/с
До 200	До 10	10	261	13 × 6	318
До 1000	Любая масса	12	218	16 × 7	268
До 850		14	186	19 × 8	232
До 750	Свыше 20	16	163	20 × 10	197
До 650		18	145	21 × 12	170
До 550		20	130	26 × 12	159
До 400		22	118	29 × 13	143
До 350	Свыше 50	24	108	30 × 15	130
До 300		26	100	31 × 17	118
До 250	Свыше 100	28	93	32 × 19	107
До 200		30	87	32 × 22	100

Примечание. H'_o, m'_o — соответственно высота и масса отливки с прибылями.

3) выбирают диаметр (диаметры) стояков: по найденной скорости $v_{ст}$ определяют диаметр стояка из условия $v_{ст} \le v_{ст\,max}$, используя данные табл. 13.6;

4) определяют, стояки каких диаметров удовлетворяют условию п. 3. Любой из найденных диаметров может быть использован в литниковой системе. Выбирают один из диаметров $d_{ст}$ и определяют его площадь

$$F_{ст} = \pi d_{ст}^2/4;$$

5) определяют число стояков $n_{ст}$ из отношения площадей:

$$n_{ст} = \sum F_{ст}/F_{ст}.$$

Полученное значение округляют до ближайшего целого значения;

6) выбирают соотношение площадей стояка («ст»), литникового хода («л.х»), питателя («пит»): $\sum F_{ст} : \sum F_{л.х} : \sum F_{пит} = K_{ст} : K_{л.х} : K_{пит}$ по табл. 13.7 [15];

7) определяют суммарные площади сечений литникового хода и питателей:

$$\sum F_{л.х} = \sum F_{ст} K_{л.х};$$

$$\sum F_{пит} = \sum F_{ст} K_{пит};$$

Таблица 13.7. **Рекомендуемые соотношения $F_{ст} : F_{л.х} : F_{пит}$ для отливок разной высоты***

Масса отливки, кг		Соотношение $F_{ст} : F_{л.х} : F_{пит}$ для отливок высотой, мм			
Сплавы алюминия	Сплавы магния	до 150	151...450	451...750	свыше 750
До 5	До 3,5	1 : 2 : 2	1 : 2 : 3	—	—
Свыше 5 до 10	Свыше 3,5 до 7	1 : 2 : 2	1 : 2 : 3	1 : 2 : 4	1 : 3 : 3
Свыше 10 до 20	Свыше 7 до 14	1 : 2 : 3	1 : 2 : 4	1 : 3 : 3	1 : 3 : 4
Свыше 20 до 40	Свыше 14 до 28	1 : 2 : 4	1 : 3 : 3	1 : 3 : 4	1 : 4 : 4
Свыше 40 до 70	Свыше 28 до 50	1 : 2 : 4	1 : 3 : 4	1 : 4 : 4	1 : 4 : 5
Свыше 70 до 150	Свыше 50 до 100	1 : 3 : 4	1 : 3 : 5	1 : 4 : 4	1 : 4 : 5
Свыше 150	Свыше 100	1 : 4 : 4	1 : 4 : 5	1 : 4 : 6	—

* $F_{ст}$, $F_{л.х}$, $F_{пит}$ — соответственно площади сечения стояка, литникового хода и питателей.

8) определяют площади одного из одинаковых литниковых ходов и питателей по уравнениям

$$F_{iл.х} = \frac{\sum F_{л.х}}{n_{л.х}}; \qquad F_{iпит} = \frac{\sum F_{пит}}{n_{пит}},$$

где $n_{л.х}$, $n_{пит}$ — число литниковых ходов и питателей соответственно;

9) вычисляют площади неодинаковых литниковых ходов

$$F_{iл.х} = (\sum F_{л.х}) \frac{m_{iл.х}}{m_ф},$$

где $m_{iл.х}$ — масса отливок, присоединенных к i-му литниковому ходу; $m_ф$ — металлоемкость формы;

10) вычисление размеров трапецеидального литникового хода ведут, используя следующие соотношения:

высота

$$h_{iл.х} = \sqrt{F_{iл.х}/0,68},$$

нижнее основание

$$a_{iл.х} = h_{iл.х}/1,25,$$

верхнее основание

$$b_{iл.х} = 0,7 a_{iл.х};$$

11) находят размеры прямоугольных питателей:

площадь одного питателя

$$F_{i\text{пит}} = \sum F_{\text{пит}} / n_{\text{пит}},$$

высота

$$h_{i\text{пит}} = h_{\text{л.х}} / 3,25,$$

размеры поперечного сечения

$$a_{i\text{пит}} = b_{i\text{пит}} = F_{i\text{пит}} / h_{i\text{пит}};$$

12) для цилиндрических стояков выбирают воронки и чаши по табл. 13.2—13.4 и графикам (см. рис. 13.15—13.17) с соответствующим пересчетом их масс и расходов.

Расчеты стояка, литниковых ходов и питателей для вертикально-щелевой литниковой системы изложены ранее. Исходя из приведенных расчетов выполняют следующее:

- определяют суммарную ширину щелей, принимая (см. рис. 13.4)

$$\sum h_{i\text{щ}} = \sum h_{i\text{пит}} = h_{i\text{пит}} n;$$

- вычисляют толщину одной щели

$$h_{i\text{щ}} \le (0,7...1,0) h_{\text{о}};$$

где $h_{\text{о}}$ — толщина стенки отливки в месте ее соединения с вертикальной щелью;

- находят число щелей

$$n_{\text{щ}} = \sum h_{i\text{щ}} / h_{i\text{щ}};$$

- вычисляют ширину (расстояние от отливки до колодца) щели $l_{\text{щ}}$ и диаметр колодца $d_{\text{к}}$ по уравнению

$$l_{\text{щ}} = d_{\text{к}} \ge 4 h_{i\text{щ}};$$

- проверяют ширину питателя, используя неравенство

$$a_{i\text{пит}} = b_{i\text{пит}} \ge d_{\text{к}};$$

- при невыполнении неравенства пересчитывают высоту питателей

$$h_{i\text{пит}} = F_{i\text{пит}} / d_{\text{к}}$$

и далее — $a_{i\text{пит}} = b_{i\text{пит}}$, $h_{i\text{пит}}$, $h_{i\text{щ}}$, $n_{\text{щ}}$ и $l_{\text{щ}}$.

ГЛАВА 14

ПОЛУЧЕНИЕ ПЛОТНЫХ ОТЛИВОК

Отличительным признаком отливок при их сравнении с заготовками из деформируемых сплавов является наличие в отливках усадочной, газовой и газоусадочной пористости. Об этом по сути и свидетельствует буква «Л» (литой) в конце марок литейных сплавов. Пористость может значительно снижать прочность сплавов — до 30 % и более. Поэтому получение плотных отливок является одной из важных задач технолога-литейщика.

Следует отметить, что заготовки из деформируемых сплавов также получаются из отливок, называемых слитками, которые так же, как и отливки, поражены пористостью. Однако в процессе обработки давлением пористость практически уничтожается путем спрессовывания пор.

Технология изготовления отливок в очень сильной степени зависит от требований заказчика, предъявляемых к их плотности: чем жестче требования по плотности, тем более сложным и дорогим становится технологический процесс изготовления отливок. Например, для предупреждения газовой пористости применяются вакуумная плавка и заливка, а для уменьшения усадочных пор тщательным образом организуется питание отливок с использованием, например, центробежных сил или давления сжатого воздуха в автоклаве.

Для получения плотных отливок технолог может реализовать два принципа затвердевания: одновременного и направленного. Схематически это иллюстрируется на рис. 14.1.

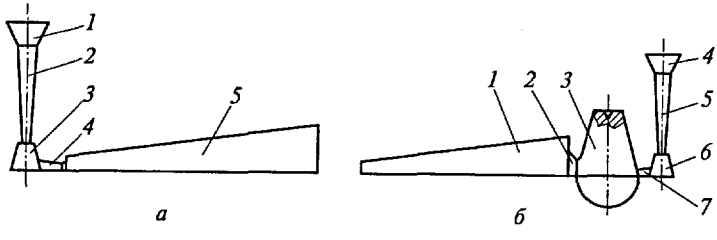


Рис. 14.1. Схемы обеспечения затвердевания отливок:

а — одновременного: *1* — воронка; *2* — стояк; *3* — шлакоуловитель; *4* — питатель; *5* — отливка; *б* — направленного: *1* — отливка; *2* — шейка; *3* — прибыль; *4* — воронка; *5* — стояк; *6* — шлакоуловитель; *7* — питатель

Принцип одновременного затвердевания реализуется подводом металла в тонкую часть отливки (рис. 14.1, *а*). При заливке тонкая часть отливки разогревается, и отливка в тонких и толстых частях затвердевает одновременно.

Принцип направленного затвердевания реализуется подводом металла в толстую часть отливки (тепловой узел) с обязательным использованием прибылей. На рис. 14.1, *б* показан подвод металла в толстую часть отливки через прибыль.

Следует отметить, что под «тепловым узлом» понимается утолщение в отливке (скопление металла), диаметр вписанной окружности в которое больше, чем примыкающие к нему стенки. Ниже будут рассмотрены средства для реализации названных принципов затвердевания. Однако прежде следует обозначить область их использования. Принцип направленного затвердевания является универсальным, пригодным для любых отливок из любых сплавов. Принцип одновременного затвердевания используется для мелких отливок из любых сплавов эвтектического и околоэвтектического состава, когда питание обеспечивается из литниковой системы (стояка) на небольшие расстояния.

Естественно, принцип одновременного затвердевания может быть использован для отливок из серых чугунов эвтектического или околоэвтектического состава, расширяющихся при графитизации, которая происходит в некотором интервале температур ниже температуры солидуса (температуры эвтектического превращения). К таким чугунам следует отнести чугуны марок СЧ15 и СЧ20, отливки из которых можно изготовлять без прибылей, соблюдая принцип одновременного затвердевания. Это относится не только к мелким, но и к крупным отливкам серого чугуна СЧ15 и СЧ20. С дальнейшим увеличением числа в марке (начиная с СЧ25) и интервала кристаллизации чугуна отливки из него изготовляют уже с использованием питающих бобышек (такое название они получили из-за малых размеров, связанных с небольшой усадкой затвердевания). Точно так же без прибылей могут изготовляться мелкие тонкостенные отливки из чугуна с шаровидным графитом при его модифицировании в форме. Большинство отливок из ВЧ можно изготовлять без прибылей, но в жесткую неподатливую форму.

Следует отметить, что отливки из любых чугунов с графитом получаются плотнее при их изготовлении в жестких неподатливых формах, что связано с расширением чугунов в некотором интервале температур ниже температуры солидуса (в твердом состоянии). В обычной песчано-глинистой форме плотность отливок будет зависеть от прочности смеси. В малопрочных формах расширение чугуна реализуется в увеличении размеров и образовании усадочных дефектов.

Универсальному принципу направленного затвердевания присущи существенные недостатки — неодновременность затверде-

вания отливки и, следовательно, повышенная склонность к горячим трещинам, значительная разность температур в объеме отливки и повышенная склонность к временным температурным напряжениям, а в последующем — к остаточным напряжениям.

Реализация принципа одновременного затвердевания, кроме упомянутого подвода металла в тонкую часть отливки, может быть достигнута правильным конструированием отливки по возможности с однородной стенкой и обеспечением одновременного затвердевания разностенной отливки путем неуправляемого (внутренние и внешние холодильники) и управляемого охлаждения.

При конструировании отливок следует избегать скоплений металла, заменяя толстую стенку оребренной более тонкой с практически одинаковой жесткостью, крестообразное пересечение ребер заменять Т-образным, в котором диаметр вписанной в скопление металла окружности будет меньше и т. п.

Примеры правильного конструирования отливок приведены в гл. 2. «Технологичность литых деталей. Возможность их изготовления».

14.1. НАРУЖНЫЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ

Элементы формы, применяемые для ускорения затвердевания тепловых узлов отливок, называют «наружными холодильниками».

Наружные холодильники можно подразделить по конфигурации на плоские (рис. 14.2, *а*), шиповидные, ребристые, прямолинейные круглого (рис. 14.2, *б*), квадратного или иного постоянного профиля, фасонные переменного профиля (см. рис. 14.2, *в*), а также по способу изготовления (вырезанные из проката, литые из чугуна и других сплавов). Чаще всего используют чугунные литые холодильники, но они также могут быть изготовлены из стали, медных и алюминиевых сплавав. В отдельных случаях применяют холодильники из материалов, обладающих повышенной теплоаккумулирующей способностью (графит, корунд, хромистый железняк и т. п.), а при захолаживании фасонных поверхностей эффективным является применение захолаживающих смесей, содержащих до 60 % колотой чугунной дроби.

При захолаживании протяженных направляющих станин и других чугунных отливок холодильники делают со скосами (см. рис. 14.2, *а*) или не доходящими до угла для предотвращения отбела и небольшой длины, так как протяженные холодильники сильно коробятся.

Шиповидные и ребристые холодильники, которые используют для отливок из чугуна, являются «мягкими», так как плоские холодильники способствуют появлению междендритного графита и даже отбела.

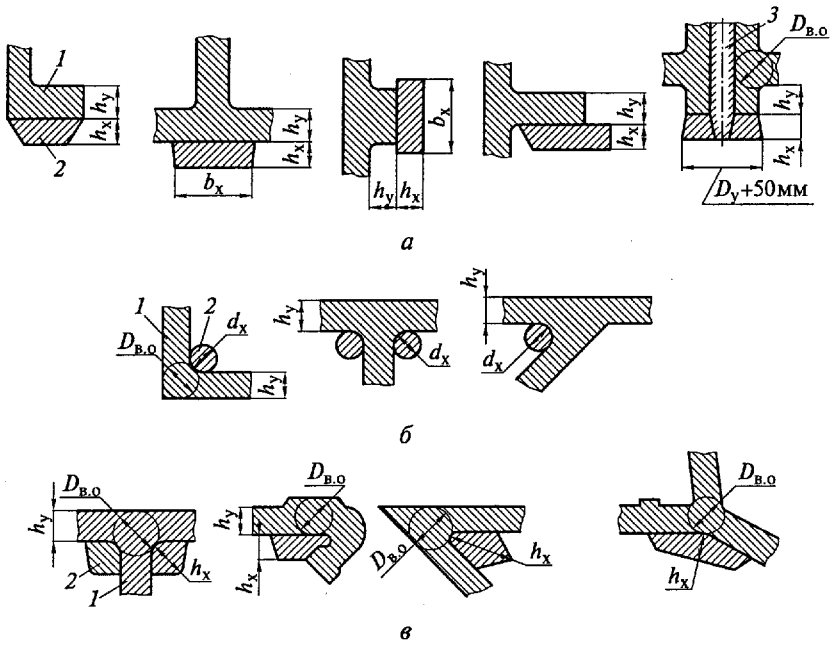


Рис. 14.2. Схема расположения холодильников:

а — плоских; *б* — круглых; *в* — фасонных; *1* — отливка; *2* — холодильник; *3* — стержень; h_x — толщина холодильника; h_y, D_y — соответственно толщина и диаметр теплового узла; b_x — протяженность холодильника; $D_{в.о}$ — диаметр окружности, вписанной в тепловой узел; d_x — диаметр холодильника

Вершины шипов и ребер срезают на 1,5...2,0 мм, оставшаяся высота составляет 10...12 мм, угол при вершинах 90°, а общая высота такая же, как и плоских холодильников.

Для определения толщины h_x наружных холодильников для фланцев и местных приливов с диаметром вписанной окружности $D_{в.о}$ можно воспользоваться уравнениями, полученными при обработке табличных данных из работы [8]:

для фланца

$$h_x = 0{,}14 D_{в.о}^{1{,}375};$$

для прилива

$$h_x = 0{,}19 D_{в.о}^{1{,}375}.$$

Наружные холодильники перед установкой в форму должны быть окрашены так же, как и металлическая форма, во избежание приваривания к отливке.

Необходимо отметить следующие недостатки наружных холодильников:

• наружные холодильники трудно собирать во время выбивки или после нее;

• при задержке заливки на холодильнике готовой формы появляется конденсат и, как следствие, происходит образование газовых раковин;

• при установке в форму холодильников с трещинами разгара, которые появляются при многократных заливках, могут также возникать газовые раковины от расширения воздуха в трещинах, «захлопнутого» при заливке металлом.

Для выравнивания процессов затвердевания, уменьшения остаточных напряжений и сокращения технологического цикла изготовления крупных чугунных и стальных отливок можно использовать управляемое принудительное воздушное охлаждение и принудительное увлажнение литейной формы. Для реализации управляемого охлаждения необходима специальная оснастка. Для примера на рис. 14.3 приведен комплект оснастки, состоящей из плиты *6*, нижней полуформы *2* и верхней полуформы (опоки) *1* [41]. Нижняя *5* и боковая *4* системы труб с отверстиями 2,0...2,5 мм на стороне, обращенной к отливке, имеют самостоятельные коллекторы и могут работать независимо одна от другой, обеспечивая заданный режим охлаждения отливки *3*. К трубам *4* и *5* через коллекторы подводят воду и воздух. После затвердевания отливки или ее поверхностных слоев в форму впрыскивается вода, которая попадает в прогретые слои формы и испаряется. Вслед за порцией воды подается сжатый воздух. В результате температура формы снижается и ускоряется охлаждение отливки. Оснастка позволяет осуществлять комплексное регулирование процессов, обеспечивая подсушку или отверждение формы продувкой теплого воздуха,

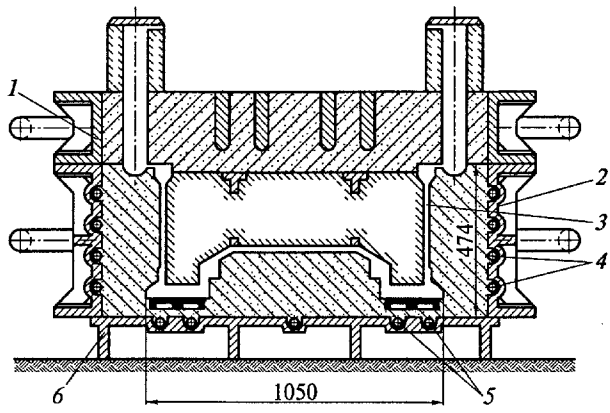


Рис. 14.3. Конструкция оснастки для охлаждения отливок:

1 — верхняя полуформа; *2* — нижняя полуформа; *3* — отливка; *4* — боковая система труб с отверстиями; *5* — то же, нижняя; *6* — постельная плита

отсос газового потока из полости формы при заливке, регулирование охлаждения по оптимальному режиму и снижение прочности формы перед выбивкой за счет ее увлажнения.

Эффективность метода принудительного охлаждения существенно возрастает при автоматическом регулировании процесса охлаждения отливки. Для этого в толстую и тонкую части устанавливают термопары, и разность температур используется в качестве регулируемого параметра.

14.2. ВНУТРЕННИЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ

Назначение внутренних холодильников такое же, как и наружных, — ускорение затвердевания тепловых узлов и скоплений металла. Внутренние холодильники бывают двух типов. Холодильники первого типа устанавливаются в тех частях отливки, которые удаляются при механической обработке, чаще всего в местах сверления отверстий (они могут быть даже окрашены (рис. 14.4)). Диаметр внутреннего холодильника $d_{в.х}$ можно определить по диаметру D высверливаемого отверстия с помощью эмпирического уравнения, полученного на базе использования регрессионного анализа:

$$d_{в.х} = 0{,}263D^{1{,}157},$$

где $12 < D < 90$ мм.

Внутренние холодильники второго типа должны расплавляться в жидком металле или свариваться с металлом отливки. Поэтому к ним предъявляются следующие требования: их химический со-

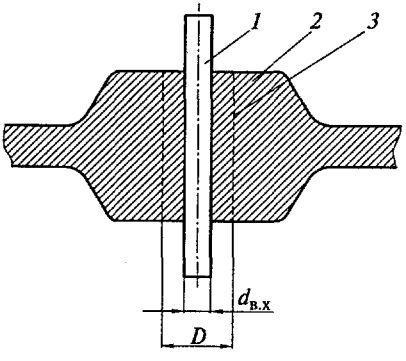


Рис. 14.4. Внутренний холодильник для высверливаемого отверстия:

1 — холодильник; *2* — отливка; *3* — высверливаемое отверстие; $d_{в.х}$ — диаметр внутреннего холодильника; D — диаметр высверливаемого отверстия

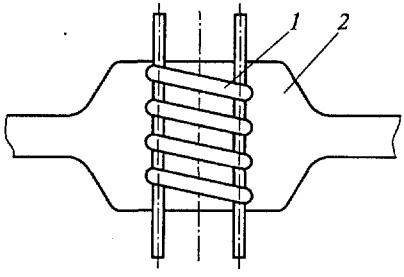


Рис. 14.5. Внутренний спиральный сваривающийся холодильник:

1 — холодильник; *2* — полость формы для массивной части отливки

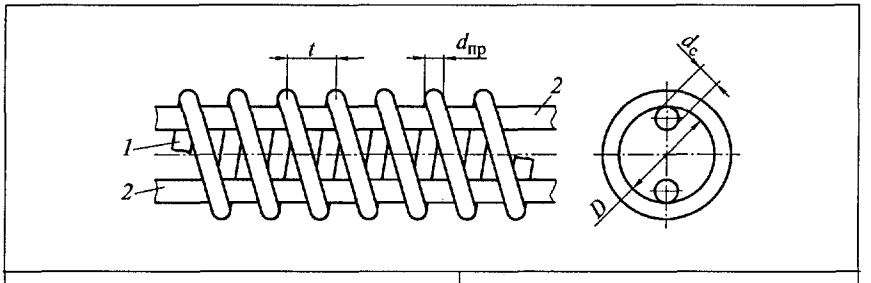
Таблица 14.1 **Диаметр проволоки спирали, диаметры и число прутков-сердечников внутренних спиральных холодильников**

Характеристика составляющих холодильников	Значение характеристики при диаметре вписанной окружности $D_{в.о}$, мм				
	30	50	75	100	150
Диаметр проволоки спирали $d_{пр}$, мм	2	3	4	6	6
Допустимый диаметр прутков-сердечников d_c, устанавливаемых внутри спирали, мм	3...4	4...6	6...8	8...10	10...12
Допустимое число прутков-сердечников, устанавливаемых внутри спирали	1	1	1...2	2...3	2...3

став должен соответствовать составу заливаемого сплава; поверхность очищена от окалины и масла, а в случаях испытания отливки на герметичность быть пассивированной или луженой; размеры должны быть выбраны в зависимости от размеров теплового узла.

В табл. 14.1 приведены размеры и число внутренних спиральных холодильников, устанавливаемых в массивных узлах. Об их расположении можно судить по рис. 14.5.

Таблица 14.2. **Размеры и масса внутренних спиральных холодильников**



Основные размеры, мм					Масса 1 пог. м q, кг	
Спираль *1*			Прутки-сердечники *2*		Спираль без прутков-сердечников	Спираль с прутками-сердечниками
$d_{пр}$	D	t	d_c	Количество n		
2,0...2,5	15	6...10	4	1	0,154	0,254
	25	6...10	4	1	0,278	0,378
	35	6...10	6	1	0,400	0,622
3,0...4,0	30	10...15	6	1	0,564	0,786
	45	10...15	6	2	0,842	1,286
	60	10...15	8	2	1,030	1,820
5,0...6,0	50	20...25	8	3	1,230	2,415
	60	20...25	10	3	1,490	3,341
	70	20...25	12	3	1,750	4,414

В зависимости от диаметра $D_{в.о}$ по табл. 14.1 выбирают диаметр $d_{пр}$ проволоки спирали, допустимый диаметр $d_с$ прутков-сердечников, устанавливаемых внутри спирали, и их допустимое число. Далее по уже найденному значению $d_{пр}$ с помощью табл. 14.2 определяют диаметр D спирали и ее шаг t. Длина l спирали может быть определена из уравнения [8]

$$l = (0{,}04 \ldots 0{,}02) m_у / q,$$

где $m_у$ — масса теплового узла, кг; q — масса одного погонного метра (1 пог. м) спирального холодильника, кг (см. табл. 14.2).

Холодильники с диаметром проволоки более 20 мм не расплавляются даже в массивных узлах. Общая масса внутренних холодильников должна составлять 2...4 % массы охлаждаемого узла.

Для реализации принципа направленного затвердевания могут быть использованы внутренние и внешние холодильники и управляемое охлаждение.

Правила конструирования отливки для конструктора остаются такими же, как и при реализации принципа одновременного затвердевания. Однако технолог-литейщик, анализируя конструкцию изготовляемой им отливки, обязан обеспечить питание тепловых узлов прибылями.

14.3. Технологический напуск

В некоторых случаях прибыль не может быть установлена непосредственно на тепловой узел и ее приходится размещать над тепловым узлом (рис. 14.6). Если не будет организовано направленное затвердевание, то стенка, находящаяся между тепловым узлом и прибылью, может затвердеть раньше и в тепловом узле, который не может питаться из прибыли, образуются усадочные дефекты. Поэтому «выкатывают» и постепенно увеличивают диаметр вписанной в тепловой узел окружности (например, с углом 3...6° в направлении прибыли), затем проводят огибающую эти окружности линию. Разница между профилем отливки и огибающей линией (на рис. 14.6 штриховка сеткой) называется «технологическим напуском», который обеспечивает направленное к прибыли затвердевание и питание теплового узла.

Как правило, технологический напуск на готовой отливке должен быть удален механической обработкой.

Технологический напуск не нужно доводить до нижнего торца вертикальной стенки, так как прибыль действует на определенную зону, чаще всего представляющую собой полусферу, радиус которой является радиусом действия прибыли. За пределами этой зоны питания отливки не происходит. Естественно, что радиус действия прибыли зависит от напора металла и давления на металл в прибыли (атмосферного, сжатого воздуха и газа — см. подразд. 14.4), и с

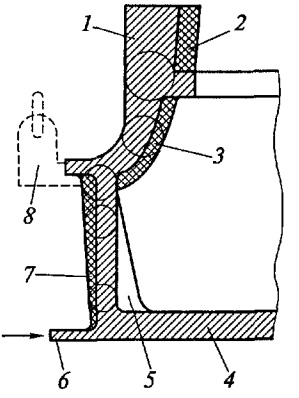
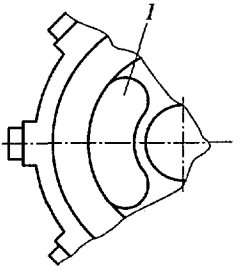


Рис. 14.6. Технологический напуск (прибыль над горячим местом):

1 — открытая прибыль; *2*, *3*, *5* — технологические напуски; *4* — отливка; *6* — питатель; *7* — ребро; *8* — закрытая боковая прибыль атмосферного давления; стрелкой показано направление подвода металла

увеличением давления радиус действия прибыли расширяется, т. е. металл продвигается по междендритным каналам.

Для высоких отливок (плиты, цилиндры, отливаемые вертикально) также требуется технологический напуск на некотором расстоянии $h_н$ от прибыли (рис. 14.7), так как без напуска нижняя часть отливок будет плотной из-за действия торца.



Для цилиндрических вертикальных отливок с однородной толщиной стенок радиус действия прибыли должен быть проверен как по высоте, так и по диаметру. По диаметру прибыль может быть сплошной (рис. 14.8, *1а*) или локальной (рис. 14.8, *1б*). Для сплошных по диаметру прибылей технологический напуск должен быть также сплошным, для локальных прибылей он может быть (если он нужен) локальным как по вертикали, так и по диаметру (см. рис. 14.8).

Следовательно, радиус действия прибыли должен быть проверен не менее чем в двух направлениях, а по возможности во всех направлениях.

Другим примером установки прибылей и выполнения технологического напуска может быть отливка крышки (рис. 14.9). Для

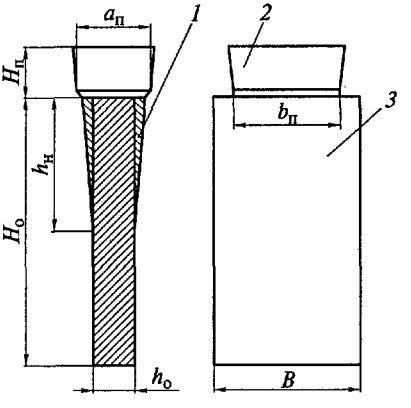


Рис. 14.7. Технологический напуск на высоких отливках, заливаемых вертикально:

1 — технологический напуск; *2* — прибыль; *3* — отливка; $a_п$, $b_п$ — размеры прибыли в сечении; $H_п$ — высота прибыли; B — ширина отливки; $h_о$ — толщина отливки; $H_о$ — высота отливки; $h_н$ — высота напуска

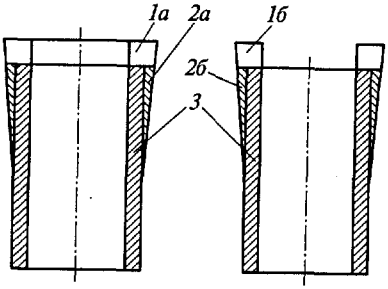


Рис. 14.8. Сплошная (*1а*) и локальная (*1б*) прибыли со сплошным (*2а*) и локальным (*2б*) технологическим напуском на отливке *3*

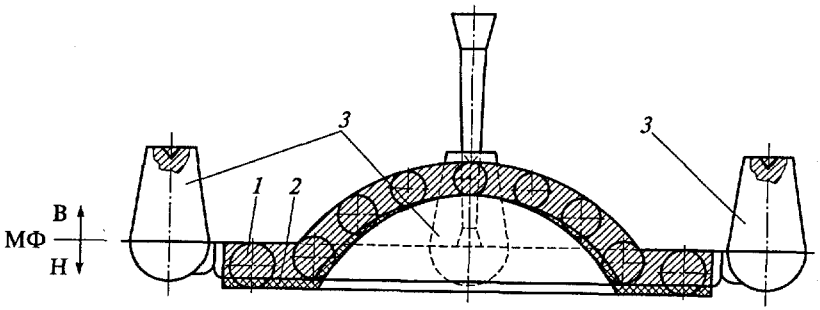


Рис. 14.9. Технологический напуск на отливке крышки:
1 — отливка; *2* — технологический напуск; *3* — прибыли; В, Н — соответственно верх и низ формы; МФ — разъем модели и формы

обеспечения герметичности крышки необходимо поставить четыре прибыли по диаметру фланца и предусмотреть сплошной или локальный технологический напуск.

4.4. КОНСТРУКЦИИ ПРИБЫЛЕЙ

Известно около десятка признаков, по которым прибыли можно объединять в условные группы. В числе таких признаков, характеризующих отдельные группы прибылей, следующие:

- расположение прибылей — верхнее и боковое;
- технология изготовления — открытые и закрытые прибыли;
- характер заполнения прибыли — проточное (проливное) и сливное (отводное);
- протяженность — сплошные, локальные прибыли;
- силы, действующие на металл в прибыли, — гравитационные (действуют только при заливке в вакууме), гравитационно-атмосферные, газового давления и высокого давления;
- условия охлаждения — обычные (полость для прибыли выполнена из того же материала, что и литейная форма), теплоизолированные (полость выполнена из менее теплопроводного мате-

риала, чем форма), экзотермические (материал полости выделяет теплоту при его нагреве металлом) прибыли;

• *способ отделения* — отбиваемые, отрезаемые и легкоотделяемые прибыли;

• число питаемых узлов — индивидуальные и групповые прибыли;

• конфигурация прибылей — цилиндрические, шаровые, полушаровые, кольцевые, кольцевые в форме перевернутого стакана с плоским и сферическим дном, прямоугольные, квадратные и сложной формы в соответствии с конфигурацией теплового узла.

Верхние прибыли располагаются, как правило, над массивным узлом в верхней части отливки.

Боковые прибыли соединяются с массивными узлами на вертикальных или наклонных поверхностях отливки.

Открытые прибыли доходят до контрлада формы, и их верхняя поверхность непосредственно сообщается с атмосферой.

Закрытая прибыль со всех сторон окружена формовочной или стержневой смесью.

Проточные (проливные) прибыли, расположенные на пути металла из стояка и литниковых каналов в полость формы, соединяются с отливкой шейкой, и через них (если их несколько) протекает вся масса заливаемого в форму металла, за исключением металла, находящегося в каналах литниковой системы, до проточных (проливных) прибылей.

Сливные прибыли находятся в конце пути заливаемого металла после отливки.

Сплошные прибыли применяются для цилиндрических отливок (например, цилиндров компрессоров) и цилиндрических частей отливок (например, ступиц зубчатых колес). Чаще прибыли выполняют локальными.

Как было отмечено ранее, сила гравитации действует только в условиях вакуума, т. е. когда атмосферное давление равно нулю. При заливке в условиях обычного атмосферного давления, равного 0,1 МПа (1 кгс/см^2), или в автоклаве с сетевым или более высоким давлением (давление в сети сжатого воздуха 0,5 МПа (5 кгс/см^2)), силы гравитации и силы атмосферного давления действуют совместно, т. е. при строгом подходе прибыли являются гравитационно-атмосферными, тем не менее на практике такие прибыли называются «прибылями атмосферного давления».

Атмосферное давление начинает действовать только тогда, когда в междендритных каналах давление снижается относительно атмосферного, т. е. когда там создается вакуум. Этот момент наступает, когда силы тяжести не могут компенсировать уменьшение объема жидкой фазы в междендритных пространствах. Поэтому при уменьшении объема происходит разрыв жидкости, возникает пустота с давлением, равным нулю. В этот момент автоматически

проявляется действие атмосферного давления, и металл уже под воздействием совместных сил гравитации и атмосферы продавливается по междендритным каналам в образовавшуюся пустоту, устраняя пористость в отливке.

Выше рассмотрено действие обычной окружающей нас атмосферы — среды с давлением 1 ат = 1 кгс/см^2 = 0,1 МПа. Затвердевающую отливку может окружать среда с бóльшим (например, литье в автоклаве) или с меньшим (например, литье в вакууме) давлением.

Очевидно, что чем больше давление среды, тем плотнее будет отливка.

Совместное действие сил гравитации и сил атмосферного давления влияет не только на продвижение жидкого металла по междендритным каналам, но и на формирование поверхности отливки. В определенных условиях, когда отливка будет представлять собой тело, покрытое снаружи сплошной затвердевшей коркой и имеющее жидкую фазу внутри, которая постепенно уменьшается в объеме, атмосферное давление может произвести смятие корки с поверхности в местах, где ее толщина минимальна. В этих местах образуются так называемые «утяжины». При этом места смятия корки отливки соответствуют внутренним областям пониженного давления или даже вакуума, образующимся вследствие усадки жидкого и затвердевшего металла. При этом чем выше давление среды, тем больше утяжин должно образоваться на отливках и тем плотнее получится отливка, хотя и с некоторым искажением поверхности.

Приведенное описание прерывистого процесса питания и заполнения пустот отражает суть явления. На практике процесс питания монотонный, происходит постепенно по мере усадки металла в жидком состоянии, его затвердевания и образования пустот. При правильно организованном питании атмосферное давление может деформировать отливку только в прибылях, затвердевающих последними. Наличие вмятин на теле отливки свидетельствует о том, что не был соблюден принцип направленного затвердевания.

Положительное значение сообщающейся с атмосферой поверхности жидкого металла в прибылях было подмечено с очень давних времен, и в практике литейного производства известны приемы помешивания металла в прибылях («качания открытых прибылей») или пробивания образующейся на их поверхности затвердевшей корки. В настоящее время применение этого приема сохранилось для открытых прибылей. Кроме того, поверхность прибылей присыпают теплоизолирующим материалом или древесным углем и доливают прибыль горячим металлом.

Для сообщения жидкого металла в закрытых прибылях с атмосферой используют специальные газопроницаемые стержни, ко-

торые устанавливают в модель при формовке. Особенно необходимы эти стержни для закрытых прибылей с выпуклой поверхностью (шаровые, полушаровые и др.), так как на такой поверхности быстро образуется твердая корка и только газопроницаемый стержень обеспечивает связь жидкого металла с атмосферой (рис. 14.10, *а*).

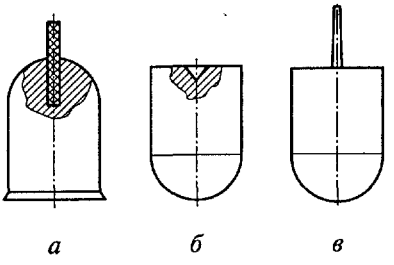


Рис. 14.10. Варианты сообщения жидкого металла в прибыли с атмосферой:

а — газопроницаемый стержень; *б* — болванчик в прибыли; *в* — шпилька на прибыли

В сырых формах, особенно при машинной и автоматической формовке, на плоской поверхности моделей закрытых прибылей выполняются углубления, а в форме — болванчики (рис. 14.10, *б*), которые разогреваются и твердая корка в этих местах не образуется. Таким способом обеспечивается сообщение жидкого металла в прибыли с атмосферой. Другим вариантом сообщения с атмосферой является установка на плоской поверхности прибыли шпилек существенно меньшего, чем у прибыли, диаметра с небольшим радиусом перехода в местах сопряжения (рис. 14.10, *в*). Так как в этих местах твердая корка также не образуется, обеспечивается сообщение металла с атмосферой.

Атмосферно закрытые прибыли обеспечивают питание лежащих выше прибыли частей отливок. Доказательством этого положения может служить опыт, который демонстрировал студентам профессор Б. В. Рабинович. Схема опыта с двумя стеклянными сосудами *2* и *3* разной высоты, соединенными трубкой *4*, приведена на рис. 14.11. При открытии крана *1*, расположенного на закрытом высоком сосуде, вода вытекает из него, но уровень воды опускается только в сосуде *3* малой высоты, который сообщается с атмосферой. Высокий же сосуд остается заполненным до верхнего уровня до тех пор, пока уровень воды в низком сосуде *3* не достигнет уровня трубки, соединяющей сосуды.

Легко показать, что атмосферное давление $p_{атм}$ будет удерживать заполненным водой (ρ = 1 кг/м^3) сосуд *2* высотой 10 м. При заполнении сосуда другими жидкими веществами его высота, удерживаемая атмосферным давлением, будет иной в зависимости от плотности веществ. Для наиболее тяжелой из всех жидкостей — ртути (ρ = 13 520 кг/м^3) высота сосуда будет равна 760 мм, для чугуна (ρ = 6900 кг/м^3) — 1450 мм, для медных сплавов (ρ = 8900 кг/м^3) — 1124 мм, а для алюминиевых сплавов (ρ = 2300 кг/м^3) — 4348 мм. Приведенные данные опытов и расчетов свидетельствуют, что закрытые боковые атмосферные прибыли питают и части отливки, расположенные выше прибыли.

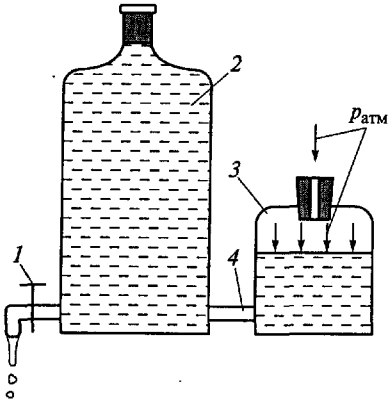


Рис. 14.11. Схема демонстрационного опыта о питании вышележащих слоев за счет прибыли:

1 — кран; *2* — высокий сосуд; *3* — низкий сосуд; *4* — соединительная трубка; $p_{атм}$ — атмосферное давление

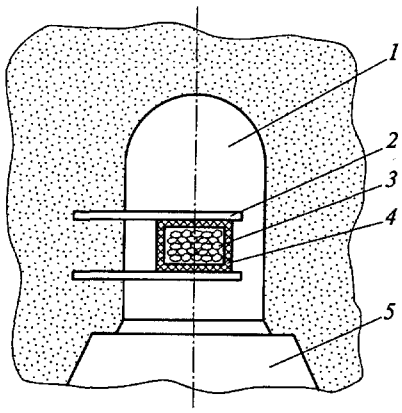


Рис. 14.12. Прибыль газового давления:

1 — прибыль; *2* — удерживающая арматура; *3* — заряд; *4* — керамическая коробочка; *5* — отливка

Следует заметить, что приведенные значения высот условных сосудов, удерживаемых атмосферным давлением, дают представление о размерах отливок, для которых атмосферное давление будет иметь решающее значение в питании отливок по сравнению с силой тяжести, определяющей напор металла. Например, для чугунных отливок, изготовляемых в опоках высотой 300 мм, а следовательно, при напоре 300 мм, решающим будет атмосферное давление, обеспечивающее давление столба чугуна 1450 мм, а для отливок высотой, например, 3 м решающим будет уже напор металла.

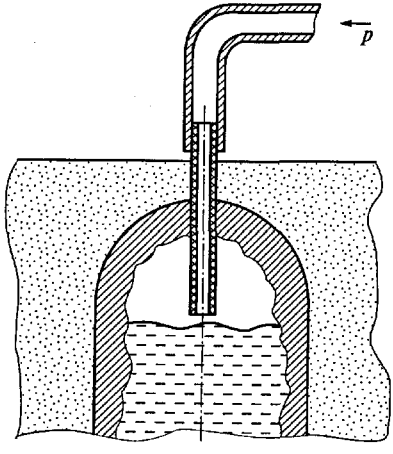


Рис. 14.13. Прибыль высокого (воздушного) давления *p*

Очевидно, что при литье в автоклаве решающим всегда будет давление окружающей среды (автоклавное давление), а отливки будут практически плотными, не пораженными ни усадочной, ни газовой пористостью. Последняя не будет образовываться, так как растворенный в металле газ при повышенном давлении не будет выделяться, т. е. окажется зафиксированным в растворе.

Прибыли газового (рис. 14.12) и высокого (рис. 14.13) давления, в которых давление на жидкий металл создается за счет газа, образующегося при разложении «газового заряда» (например, $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$) или подаваемого от сети, от баллона (т.е. сжатого газа), не нашли практического применения, вероятно, из-за сложности определения момента «подключения» давления. При раннем подключении на частях отливки, на которых твердая корка или еще не образовалась, или она еще не прочная, могут возникнуть сильный пригар и подутие. При позднем подключении давления сильно уменьшается эффективность работы прибыли. Следовательно, прибыли атмосферного давления с его естественным воздействием выгодно отличаются от прибылей газового и высокого давления.

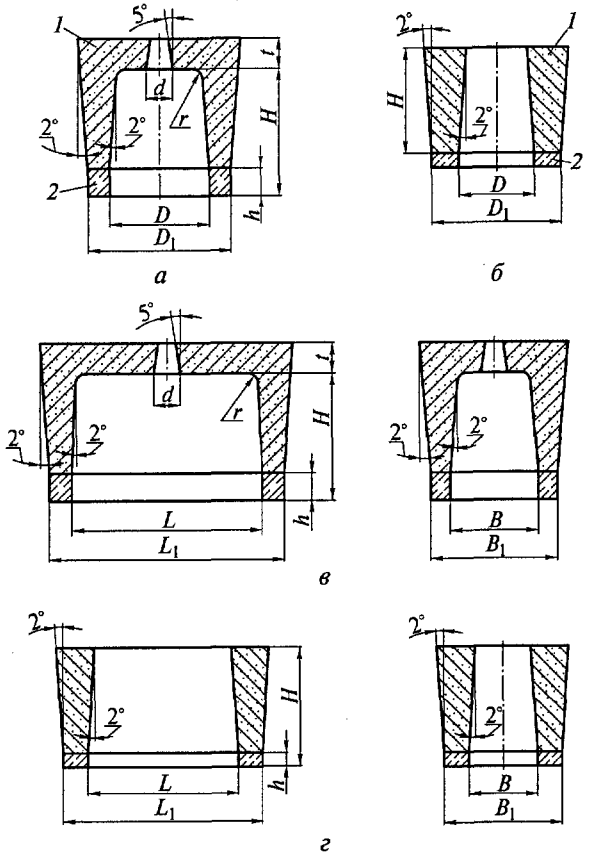


Рис. 14.14. Экзотермические круглые (*а*, *б*) и овальные (*в*, *г*) стержни-оболочки для обогрева закрытых (*а*, *в*) и открытых (*б*, *г*) прибылей:

1 — стержень-оболочка; *2* — подставка; H, t, d, r, D, D_1, h, L, L_1, B, B_1 — конструктивные размеры стержней-оболочек

Очевидно, что объем прибылей атмосферного давления и прибылей, работающих в среде более высоких давлений, зависит от давления: прибыли тем меньше, чем выше давление. На уменьшение объема прибылей направлены также теплоизоляция и обогрев прибылей экзотермическими смесями. Для реализации теплоизоляции и обогрева прибылей в форму устанавливают пустотелые стержни-оболочки, изготовленные из теплоизоляционных и экзотермических смесей.

Основу теплоизоляционных смесей составляют материалы, имеющие меньший по сравнению с формовочной смесью коэффициент теплоаккумуляции. Во многих теплоизоляционных смесях используют вспученный перлит в количестве 35...60 %, например смесь, содержащую вспученный перлит (60 %) и огнеупорную глину или жидкое стекло (40 %) в качестве связующего (вода сверх 100 %). Коэффициент теплоаккумуляции такой смеси с глиной — 285...315, с жидким стеклом — 345...360, тогда как обычной песчано-глинистой смеси для отливок из чугуна — 1370 Вт $\cdot$ с$^{1/2}$/(м$^2\cdot$К).

Более эффективным является применение экзотермических смесей. Основу этих смесей составляют три компонента: порошок алюминия марки АПВ, железная и марганцевая руда. При их взаимодействии (только с железной рудой) выделяется большое количество теплоты по реакции $8Al + 3Fe_3O_4 \rightarrow 4Al_2O_3 + 9Fe + Q$.

На основе названных материалов в количестве примерно 15 % приготовляется стержневая смесь. В качестве связующего используют формовочную глину и жидкое стекло. Наполнителями смеси могут служить шамотная крошка, гипс. В качестве катализатора приведенной выше реакции (ее воспламенителя) используют калийную или натриевую селитру (KNO_3 или $NaNO_3$) и криолит (Na_3AlF_6 — фторид натрия и алюминия).

Из стержневой смеси по специальным стержневым ящикам изготовляют пустотелые стержни-оболочки (рис. 14.14), которые после соответствующей сушки устанавливают на модельную плиту при формовке. Составы смесей и размерный ряд стержней разрабатывают и отрабатывают на каждом заводе. Примером могут служить составы экзотермических смесей, приведенные в табл. 14.3. Из смесей приведенных составов могут быть изготовлены стержни-оболочки. Например, в табл. 14.4 приведены размеры стержней-оболочек для цилиндрических закрытых атмосферных прибылей. В последние годы для экзотермических смесей используются синтетические холоднотвердеющие смеси, из которых изготовляют стержни-оболочки, устанавливаемые на модельные плиты при формовке.

Трудоемкой операцией является отделение прибылей, хотя трудоемкость ее в большой мере зависит от опыта технолога-литейщика.

Таблица 14.3. **Состав экзотермических смесей в зависимости от приведенной толщины отливки R_o**

Компонент смеси	Содержание компонента, мас. %, при R_o, м		
	0,01...0,02	0,020...0,035	0,035...0,060
Алюминиевый порошок	30	20... 25	18
Железная руда	16	10	12
Марганцевая руда	4	4	4
Криолит	3	3	3
Глина огнеупорная	10	10	10
Шамотный порошок	26	26...30	39
Калийная селитра	6	4	3
Связующее	5	5	5
Вода (сверх 100 %)	До формуемости		

Таблица 14.4. **Размеры стержней-оболочек для цилиндрических прибылей**

Прибыль	Масса прибыли для стали, кг	Размеры*, мм			
		$D_п$	$H_п$	$D_{об}$	$H_{об}$
№ 1	4,4	90	115	125	125
№ 2	5,8	100	120	140	130
№ 3	8,2	115	135	170	150
№ 4	12,5	135	155	195	175
№ 5	21,0	160	180	225	205
№ 6	36,0	190	210	260	240
№ 7	57,0	225	245	300	280
№ 8	70,0	235	260	320	300
№ 9	96,0	260	285	365	340
№ 10	130,0	285	330	390	380
№ 11	165,0	300	375	410	430
№ 12	210,0	310	420	420	480

* $D_п$, $H_п$ — соответственно диаметр и высота прибыли; $D_{об}$, $H_{об}$ — то же, стержней-оболочек.

При проектировании боковой прибыли для чугунных отливок ее шейка выполняется с «провокатором концентрации напряжений» (узкое место между отливкой и прибылью) (см. рис. 13.3, *в*). Поэтому такая прибыль в некоторых случаях удаляется при выбивке (на выбивной решетке или в последующем) легким ударом молотка или кувалды. Прибыли отливок из сплавов, обладающих в литом состоянии пластическими свойствами (углеродистая сталь, алюминиевые, магниевые, медные сплавы), отрезаются плазменным или кислородно-ацетиленовым резаком (сталь), ленточной или механической пилой (алюминиевые, магниевые, медные сплавы).

Место отрезки определенной толщины предусматривает технолог в зависимости от технологии отрезки.

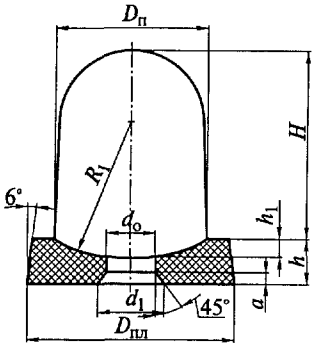


Рис. 14. 15. Керамическая пластина для легкоотделяемой прибыли:

$D_п$, R_1, d_o, d_1, $D_{пл}$, a, H, h, h_1 — конструктивные размеры прибыльных пластин

От технолога также зависит возможность использования легкоотделяемых прибылей, главным образом, локальных верхних открытых или закрытых (рис. 14.15).

На месте реза прибыли в форме должны быть предусмотрены знаковые части для установки керамического стержня-пластины с отверстием в центре. Размеры стержня, в основном его толщина, подбираются таким образом, чтобы металл в отверстии стержня не зарастал твердой коркой, т. е. по существу температура пластины в ее центре должна быть выше температуры солидуса металла отливки.

Питание из прибыли обеспечивается через отверстие в стержне. В результате у затвердевшей и выбитой отливки прибыль либо легко отрезается, либо отделяется, например ударом кувалды или молотка. Поэтому прибыли и были названы «легкоотделяемыми». При этом стоимость пластины намного дешевле затрат на отделение обычной прибыли.

Размеры подприбыльных пластин могут быть определены по эмпирическим уравнениям

$$d_o = 0{,}4D_п; \quad d_1 = 1{,}2d_o; \quad D_{пл} = 1{,}3D_п; \quad h = 0{,}12D_п + 0{,}8\sqrt{D_п},$$

где d_o — верхний диаметр отверстия в пластине; $D_п$ — диаметр прибыли; d_1 — нижний диаметр отверстия в пластине; $D_{пл}$ — нижний диаметр пластины; h — толщина пластины.

Таблица 14.5. **Состав формовочных смесей для подприбыльных пластин**

Смесь	Содержание компонента, мас. %					
	Кварцевый песок	Шамотный песок	Глина огнеупорная	Хромитовый порошок	Графит	Сульфитный щелок
Песчано-глинистая	70...60 85	— —	30...40 10	— —	— —	— 5
Шамотно-глинистая	—	70...60	30...40	—	—	—
Шамотно-глинохромистая	—	40...50	25...30	25...30	—	—
Шамотно-графито-глинистая	—	25...45	35...45	—	20...35	—

Составы смесей для изготовления подприбыльных пластин приведены в табл. 14.5.

Для мелких отливок, для которых обычно используют боковые прибыли, выгодно использовать не индивидуальную боковую прибыль, а прибыль, обеспечивающую питание двух или даже трех отливок, при этом расход металла на прибыль будет существенно меньше. Для иллюстрации этого положения о числе питаемых узлов можно воспользоваться экспериментальными зависимостями (см. далее подразд.14.5.3).

Примем, что тепловой узел одной отливки имеет массу 20 кг с приведенным размером $R_{пр}$ = 1 см. Объем прибыли составляет 500 см^3. Для двух одинаковых отливок с индивидуальными прибылями их объем составит 1000 см^3. Объем одной групповой прибыли, питающей два тепловых узла массой 2×20 = 40 кг, должен быть равен 600 см^3. Следовательно, объем одной групповой прибыли будет в 1000/600 = 1,67 раза меньше объема двух индивидуальных. Форма перечисленных выше прибылей будет несколько изменяться в зависимости от других ее признаков. Например, если прибыль открытая, то она будет расширяющейся кверху, и она будет сужающейся для закрытого варианта прибыли. Кольцевые прибыли могут иметь уклон либо с двух сторон, либо только с одной.

Описывая конструкции прибылей, следует еще раз остановиться на рассмотрении радиуса действия прибылей. В литературе по литью можно встретить другую формулировку этого понятия — «дистанция прибыли» или «протяженность зоны действия прибыли».

Предпочтительнее термин «радиус действия прибыли», поскольку он более точно отражает характер явления — действие прибыли распространяется чаще всего на полусферу, описываемую радиусом, на котором прибыль осуществляет питание отливки для получения заданной пористости.

14.5. РАСЧЕТ ПРИБЫЛЕЙ

14.5.1. Определение тепловых узлов

Расчет прибылей начинается с определения тепловых (горячих, термических, массивных) узлов — скоплений металла в отливке. Для этого в тепловые узлы вписывают окружность диаметром $D_{в.о}$ таким образом (рис. 14.16), чтобы она одновременно касалась всех очертаний этого узла. Далее определяют отношение диаметра $D_{в.о}$ вписанной окружности к максимальной толщине h_{max} стенки, подходящей к этому узлу, т.е. $D_{в.о}/h_{max}$. Важным является правильный выбор допустимого граничного значения этого

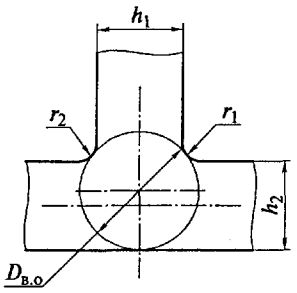


Рис. 14.16. Элемент отливки для определения теплового узла:

h_1, r_1, r_2, h_2, $D_{в.о}$ — размеры, необходимые при расчете прибылей

отношения для конкретного сплава — критерия $K_у$ узла, с которым требуется сравнить отношение $D_{в.о}/h_{max}$. Узел является тепловым, если $D_{в.о}/h_{max} > K_у$, в противном случае рассматриваемый узел тепловым не является. Трудности выбора критерия $K_у$ связаны с разной продолжительностью затвердевания отдельных узлов, имеющих одинаковые значения $K_у$. Кроме того, критерий $K_у$ зависит от типа сплава и от требований к отливке. В первом приближении для отливок общего назначения ориентировочные допустимые значения критерия $K_у$ можно принять по следующим данным:

Углеродистая сталь	СЧ1	Al-сплавы	Mg-сплавы	Cu-сплавы
1,1...1,2	1,2...1,3	1,2...1,3	1,15...1,25	1,2...1,4

При значениях $K_у$, превышающих приведенные, в отливках возможны усадочные дефекты. Следует еще раз указать на ориентировочный характер этих данных, поэтому важно и необходимо их постоянно накапливать и систематизировать.

14.5.2. Определение числа прибылей

При расчете прибылей необходимы данные по радиусу действия прибылей $l_{д.п}$, холодильников $l_х$ и торцов $l_т$ (рис. 14.17). Некоторые сведения по данному вопросу приведены в табл. 14.6.

В соответствии с определенными тепловыми узлами и данными табл. 14.6 технолог должен назначить места установки прибылей и холодильников.

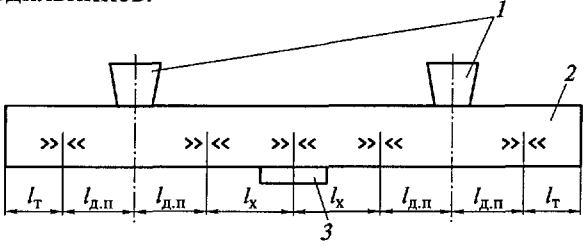


Рис. 14.17. Радиусы действия прибылей (*1*), торцов (*2*) и протяженность зоны действия холодильников (*3*):

$l_т$, $l_{д.п}$, $l_х$ — длина тепловых зон действия торцов, прибылей и холодильников соответственно; >> << — области появления пористости

Таблица 14.6. **Относительная протяженность зон действия радиуса питания прибыли $l_{д.п}$, торцового эффекта $l_т$ и холодильника $l_х$ для отливок типа бруска, плиты и кольца**

Сплав	Относительная протяженность области плотного металла		
	Прибыльная зона, $K_п = l_{д.п}/h_о$	Зона торцового эффекта, $K_т = l_т/h_о$	Зона действия холодильника, $K_х = l_х/h_о$
Сталь углеродистая, белый чугун	2,5	2,0	3,0
Сталь легированная	1,5	1,875	2,5
Латунь (70 % Cu, 30 % Zn)	2,0	2,5	2,5
Латунь с 4 % Zn	1,77	2,23	2,5
Алюминиевая бронза	2,0	2,5	3,0
Марганцовистая бронза	2,0	2,5	2,5
Силумин	3,5	4,5	3,5
Al—Cu	3,0	5,5	4,0

После определения мест установки прибылей следует рассчитать объемы и размеры прибылей (см. подразд. 14.5.3), толщину и массу холодильников (см. подразд. 14.5.4). Затем следует проверка с целью ответа на вопрос: обеспечивается ли принятым числом прибылей и (или) холодильников заданное качество отливки? Для этого измеряют расстояния $l_о$ от края прибыли для трех случаев:

1) до торцов отливки;
2) до края соседней прибыли;
3) до края соседнего холодильника.

Эти расстояния сравнивают с радиусами действия торцов, прибылей и холодильников. Если стенки отливки изогнуты (плавно или по ломаной линии), то за расстояние $l_о$ следует принимать протяженность средней линии стенки отливки. При правильной установке прибылей и холодильников должны выполняться определенные условия, которые для указанных выше трех случаев имеют вид следующих неравенств:

$$l_{о(1)} \le 2l_{д.п} + l_т;$$

$$l_{о(2)} \le 4l_{д.п};$$

$$l_{о(3)} \le 2(l_{д.п} + l_х).$$

Если какое-либо из неравенств не выполняется, необходимо установить дополнительные прибыль или холодильник, использовать технологический напуск или изменить протяженность прибыли.

При установке дополнительных прибылей их число в соответствии с вышеприведенными вычислениями составит:

$$n_{\text{п}(1)} = \frac{l_{\text{о}} - l_{\text{д.п}} - l_{\text{т}}}{2l_{\text{д.п}}}; \qquad (14.1)$$

$$n_{\text{п}(2)} = \frac{l_{\text{о}} - 2l_{\text{д.п}}}{2l_{\text{д.п}}}; \qquad (14.2)$$

$$n_{\text{п}(3)} = \frac{l_{\text{о}} - l_{\text{х}} - l_{\text{д.п}}}{2l_{\text{д.п}}}. \qquad (14.3)$$

Для определения числа дополнительных холодильников используют уравнения, аналогичные уравнениям (14.1)—(14.3):

$$n_{\text{х}(1)} = \frac{l_{\text{о}} - l_{\text{д.п}} - l_{\text{т}}}{2l_{\text{х}}}; \quad n_{\text{х}(2)} = \frac{l_{\text{о}} - 2l_{\text{д.п}}}{2l_{\text{х}}}; \quad n_{\text{х}(3)} = \frac{l_{\text{о}} - l_{\text{х}} - l_{\text{д.п}}}{2l_{\text{х}}}.$$

Протяженность технологического напуска определяют как разность по следующим уравнениям:

$$l_{\text{н}(1)} = l_{\text{о}} - l_{\text{д.п}} - l_{\text{т}}; \quad l_{\text{н}(2)} = l_{\text{о}} - 2l_{\text{д.п}}; \quad l_{\text{н}(3)} = l_{\text{о}} - l_{\text{д.п}} - l_{\text{х}}.$$

Если по уравнениям (14.1)—(14.3) получается $n_{\text{п}} \le 0{,}1$, то протяженность прибылей можно увеличить.

Дополнительные прибыли и холодильники можно рассчитать также с помощью иных методов, например, как описано в подразд. 14.5.3 и 14.5.4.

При установке дополнительных прибылей для имеющихся прибылей следует выполнить перерасчет в соответствии с изменившейся массой питаемого узла. Следовательно, определение числа прибылей, их объемов и размеров осуществляется, как и решение других технологических задач, методом последовательных приближений.

14.5.3. Расчет массы (объема) и размеров прибылей для отливок, изготовляемых в песчано-глинистых формах

При расчете прибылей необходимо учитывать, что прибыль должна: 1) иметь минимальный запас металла по объему (массе) для обеспечения питания отливки и вывода в нее усадочных дефектов из отливки; 2) затвердевать позже питаемого узла, для чего иметь минимальную поверхность охлаждения. Кроме того, конструкция и расположение прибылей должны обеспечить, по возможности, удобство формовки, минимальные затруднения усадки отливки и минимальные затраты на их отделение от отливки.

По расчету прибылей имеется обширная литература [4, 8, 15, 41 и др.]. В данном учебнике приводится описание двух эмпири-

ческих методов расчета: метод Й. Пржибыла и метод Б. В. Рабиновича (расчет по массе питаемого узла и его приведенному размеру).

Метод Й. Пржибыла. В этом методе [35] используется коэффициент прибыли $K_п$, который определяется экспериментально и равен отношению объема прибыли $V_п$ к объему усадочной раковины $V_{у.р}$:

$$K_п = V_п / V_{у.р}. \tag{14.4}$$

В то же время, исходя из физических представлений, объем усадочной раковины $V_{у.р}$ можно определить, используя уравнение

$$V_{у.р} = \varepsilon_{V_\Sigma}(V_о + V_п), \tag{14.5}$$

где ε_{V_Σ} — суммарная относительная объемная усадка затвердевания и усадка в жидком состоянии; $V_о, V_п$ — объемы отливки и питаемого узла, очерченного радиусом действия прибыли.

Тогда совместное решение уравнений (14.4) и (14.5) приведет к уравнению для объема прибыли

$$V_п = \frac{\varepsilon_{V_\Sigma} K_п}{1 - \varepsilon_{V_\Sigma} K_п} V_о. \tag{14.6}$$

Данные для вычислений с помощью уравнения (14.6) приведены в табл. 14.7.

После нахождения объема прибыли $V_п$ размеры ее поперечного сечения $a_п$, $b_п$ и высоту $H_п$ прибыли можно вычислить по следующим уравнениям:

$$a_п = k_к k_р \sqrt[3]{\frac{k_п k_ф}{k_в} V_п}; \tag{14.7}$$

$$H_п = k_в a_п, \tag{14.8}$$

где $a_п = b_п$ для квадратного сечения прибыли, $a_п = d_п$ для прибыли круглого сечения (цилиндра диаметром $d_ц$, шара диаметром $d_ш$), $b_п = b_п / k_п$ для прямоугольного сечения ($k_п$ — коэффициент соотношения сторон прямоугольного сечения, для квадратного и круглого сечений $k_п = 1$); $k_к$ — коэффициент, определяемый числом питаемых отливок от одной прибыли ($k_к = 1$ для одной отливки, $k_к = 0{,}7$ для двух отливок, $k_к = 0{,}58$ для трех и $k_к = 0{,}5$ для четырех отливок); $k_р$ — коэффициент превышения размера прибыли над размером отливки, $k_р = 1{,}1 \ldots 1{,}2$ (для отливки типа плиты $k_р = 1$); $k_ф$ — коэффициент формы локальной прибыли, $k_ф = 1$ для квадратного поперечного сечения, $k_ф = 1{,}27$ для цилиндрического поперечного сечения, $k_ф = 1{,}6$ для шара, $k_ф = 2{,}0$ для продольного полушарового сечения с отношением $H_п / D_ш = 1{,}5$; $k_в$ — коэффициент высоты прибыли ($k_в = 1{,}5$ для закрытой локальной отводной (боковой) прибыли, $k_в = 1{,}2$ для локальной верхней открытой прибыли, $k_в = 1{,}0$ для сплошной открытой и закрытой прибылей).

Таблица 14.7. **Значения суммарной усадки ε_{V_Σ} и коэффициента прибыли $K_п$ для пяти видов прибылей из разных сплавов**

Сплав	ε_{V_Σ}	$K_п$ для прибылей				
		атмосферно открытых	атмосферно закрытых	при заливке в автоклаве	атмосферных теплоизолированных	атмосферных экзотермических
Среднеуглеродистая сталь	0,05	9...12	7,5...9,0	5,5...7,0	6,0...7,5	4,5...5,0
ВЧ	0,045...0,060					
АЛ2 (АК12)	0,030...0,035	8...10	6,0...9,0	5,0...6,0	5,0...6,0	3,0...4,0
АЛ4 (АК9 ч)	0,032...0,034					
АЛ5 (АК5М)	0,045...0,049					
АЛ11 (АК7Ц9)	0,040...0,045					
Магниевый	0,040...0,070					
Латунь ЛЦ40С1	0,060...0,065	10	9,0	6,7	7...8	5

Для кольцевой (цилиндрической) сплошной открытой и закрытой прибылей

$$a_п = k_р D_{в.о} = k_р \left(\frac{D_н - D_{вн}}{2} \right); \quad b_п = \pi \frac{D_н + D_{вн}}{2},$$

где $a_п$, $b_п$, $k_р$ — то же, что в уравнении (14.7); $D_{в.о}$ — диаметр вписанной окружности в месте установки прибыли; $D_н$, $D_{вн}$ — соответственно наружный и внутренний диаметры кольцевой цилиндрической отливки.

Для пустотелых квадратных и прямоугольных сплошных открытых и закрытых прибылей:

$$a_п = k_р D_{в.о}; \quad b_п = \frac{P_н + P_{вн}}{2},$$

где $P_н$, $P_{вн}$ — наружный и внутренний периметры поперечного сечения отливки.

Размеры нижнего ($a_{п.н}$, $b_{п.н}$) и верхнего ($a_{п.в}$, $b_{п.в}$) сечений прибыли с учетом углов уклонов прибыли ($\alpha_п$) и технологического напуска ($\alpha_н$), а также высоты $H_{о.н}$ отливки с напуском можно определить по следующим уравнениям:

$$a_{п.н} = a_п + K_н H_{о.н} \operatorname{tg}\alpha_н; \quad b_{п.н} = b_п + K_н H_{о.н} \operatorname{tg}\alpha_н;$$

$$a_{п.в} = a_{п.н} \pm H_п \operatorname{tg}\alpha_п; \quad b_{п.в} = b_{п.н} \pm H_п \operatorname{tg}\alpha_п,$$

где $a_п$, $b_п$ — размеры прибыли; $K_н$ — коэффициент угла уклона технологического напуска (при $K_н = 1$ угол уклона технологического напуска расположен с одной стороны стенки отливки, при $K_н = 2$ — с двух сторон стенки отливки и при $K_н = 0$ технологический напуск отсутствует).

Следует отметить, что уравнение (14.6) в методе Й. Пржибыла и уравнение (14.7), предложенное А. П. Труховым, позволили обобщить расчет практически для всех видов прибылей для отливок из практически всех видов сплавов.

Метод расчета по массе питаемого узла и приведенному размеру. Профессор Б. В. Рабинович одним из первых установил, что зависимость объема (массы) прибыли от объема (массы) питаемого узла отклоняется от прямолинейной, вытекающей из физических представлений и принятой в методе Й. Пржибыла. Кроме того, объем прибыли зависит от приведенного размера в месте подвода металла: при увеличении приведенного размера криволинейная зависимость смещается вверх (рис. 14.18). На рис. 14.18 приведены экспериментальные зависимости для отливок типа плиты из белого чугуна, получаемых в сырых песчано-глинистых формах [41].

Приведенные зависимости, а также результаты экспериментов А. П. Трухова и К. К. Шабенова, которые были проведены в про-

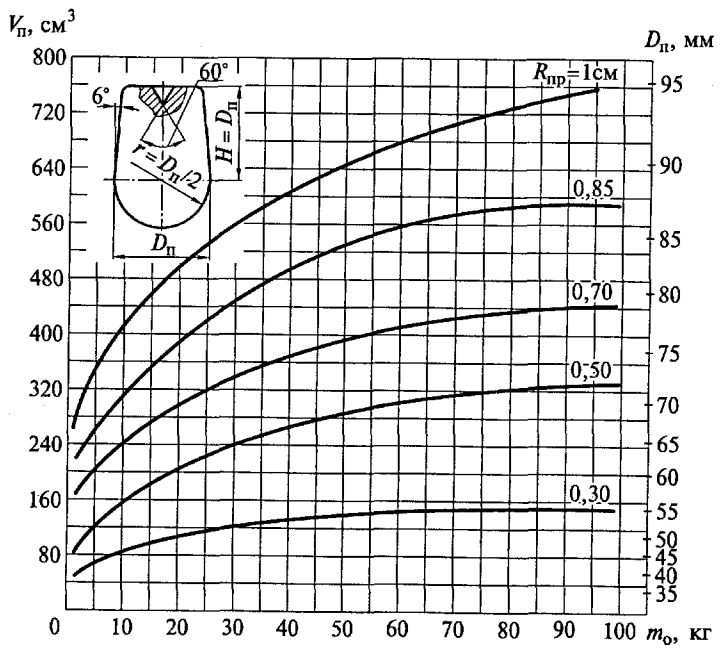


Рис. 14.18. Экспериментальные зависимости объема $V_п$ и диаметра $D_п$ прибыли от массы $m_о$ отливки (питаемого узла) и приведенного размера $R_{пр}$ в месте подвода металла

изводственных условиях в цехе серого и высокопрочного чугуна литейного завода КамАЗ, обработаны с использованием методики регрессионного анализа. Получено следующее уравнение для расчета прибылей для чугунных отливок:

$$V_{\text{п}} = 52,4\varepsilon_{V_\Sigma} R^2_{\text{м.п.м}} m_{\text{о}}^{0,312},$$

где ε_{V_Σ} — суммарная объемная усадка металла в жидком состоянии и усадка затвердевания, %; $R_{\text{м.п.м}}$ — приведенный размер отливки в месте подвода металла, см; $m_{\text{о}}$ — масса отливки или питаемого узла, кг.

Объемная усадка в жидком состоянии учитывается полностью (в запас), несмотря на то, что частично она компенсируется из стояка. При определении суммарной объемной усадки принимается, что при переходе из жидкого состояния в твердое у всех сплавов системы Fe — C объемная усадка составляет 3 %. На каждый 1 % снижения содержания углерода в чугунах, начиная с 4,3 % (эвтектический чугун), усадка увеличивается на 0,9 %. При выделении 1 % графита происходит расширение чугунов на 2 %.

Реально в аустените чугунов растворено 1,6 % углерода. Объемный коэффициент термического сжатия чугунов в жидком состоянии

$$\alpha_{V_{\text{ж}}} = (0,009 + 0,003\text{C}_{\text{экв}}).$$

С учетом реальных данных получены следующие уравнения:

$$\varepsilon_{V_\Sigma\text{Бч}} = n_{\text{у}}\left[6,9 - 0,9\text{C}_{\text{экв.ср}} + \left(0,009 + 0,003\text{C}_{\text{экв.ср}}\right)\left(T_{\text{зал max}} - T_{\text{л}}\right)\right]; \quad (14.9)$$

$$\varepsilon_{V_\Sigma\text{Сч}} = n_{\text{у}}\left[10,1 - 2,9\text{C}_{\text{экв.ср}} + \left(0,009 + 0,003\text{C}_{\text{экв.ср}}\right)\left(T_{\text{зал max}} - T_{\text{л}}\right)\right]; \quad (14.10)$$

$$\varepsilon_{V_\Sigma\text{Вч}} = n_{\text{у}}\left[9,3 - 2,9\text{C}_{\text{экв.ср}} + \left(0,009 + 0,003\text{C}_{\text{экв.ср}}\right)\left(T_{\text{зал max}} - T_{\text{л}}\right)\right], \quad (14.11)$$

где $\varepsilon_{V_\Sigma\text{Бч}}$, $\varepsilon_{V_\Sigma\text{Сч}}$, $\varepsilon_{V_\Sigma\text{Вч}}$ — суммарная объемная усадка в жидком состоянии и при затвердевании соответственно белого, серого и высокопрочного чугунов; $\text{C}_{\text{экв.ср}}$ — средний углеродный эквивалент, $\text{C}_{\text{экв.ср}} = \text{C} + {}^1\!/_3\,\text{S}_i$; $T_{\text{зал max}}$, $T_{\text{л}}$ — соответственно максимальная температура заливки и температура ликвидуса чугунов. По данным [17]

$$T_{\text{л}} = 1670 - 124\text{C}_{\text{экв.ср}}.$$

Уравнения (14.9) — (14.11) справедливы для поточно-механизированного производства и коэффициента $n_{\text{у}} = 1$. Для автоматизированного производства из-за большей жесткости литейной формы $n_{\text{у}} = 0,8$. Уравнение (14.11) справедливо при $n_{\text{у}} = 1$ и модифицировании магниевой лигатурой ФСМг5 — ФСМг8 в ковше. При модифицировании в литейной форме значения усадки в уравнении (14.11) следует уменьшить в 1,25 раза, т.е. $n_{\text{у}} = 0,8$.

14.5.4. Расчет холодильников

Аналитический расчет наружных холодильников представляет собой трудную задачу. Поэтому рассмотрим приближенный (прикидочный) расчет их массы. Для этого примем допущение, что вся теплота перегрева и теплота затвердевания теплового узла отводятся только холодильником (формой отводится значительно меньше).

Составим уравнение теплового баланса

$$c_1 m_o (T_{зал} - T_л) + S_{эф} m_o = c_x m_x (T_{к.х} - T_{н.х}), \qquad (14.12)$$

левая часть которого характеризует теплоту, отдаваемую тепловым узлом, а правая — теплоту, которая нагревает холодильник от начальной $T_{н.х}$ до конечной $T_{к.х}$ температур. Остальные параметры, входящие в уравнение теплового баланса (14.12), означают следующее: c_1 и c_x — теплоемкости соответственно теплового узла и холодильника; m_o и m_x — массы теплового узла отливки и холодильника; $T_{зал}$, $T_л$ — соответственно температура заливки и температура ликвидуса материала отливки; $S_{эф}$ — эффективная теплота кристаллизации материала отливки.

Из уравнения (14.12) легко определяется масса холодильника, а затем его размеры. Можно также воспользоваться рекомендациями, приведенными в табл. 14.8.

Таблица 14.8. **Размеры холодильников для некоторых тепловых узлов отливки (см. рис. 14.2)**

Узел	Размеры узла, мм		Размеры холодильника, мм	
	h_y	$D_{в.о}$	$h_x(d_x)$	b_x
Фланец	Менее 40	—	$(0{,}5 \ldots 0{,}6)h_y$	—
Т-образный	Менее 25	Менее 25	$(0{,}5 \ldots 0{,}8)D_{в.о}$	—
	Более 25	Более 25	$(0{,}5 \ldots 0{,}8)D_{в.о}$	—
Т-образный, захоложенный с двух сторон	Менее 20	Менее 20	$(0{,}5 \ldots 0{,}6)h_y$	—
	Менее 20	Менее 20	$(0{,}3 \ldots 0{,}4)h_y$	—
	Более 20	Более 20	$(0{,}5 \ldots 0{,}6)h_y$	—
	Более 20	Более 20	$(0{,}3 \ldots 0{,}4)h_y$	—
Т-образный, захоложенный с одной стороны	Менее 20	Менее 20	$(0{,}5 \ldots 0{,}6)h_y$	$(2{,}5 \ldots 3)h_y$
	Менее 20	Менее 20	$(0{,}5 \ldots 0{,}6)h_y$	$(2 \ldots 2{,}5)h_y$
	Более 20	Более 20	$(0{,}6 \ldots 0{,}8)h_y$	$(2{,}5 \ldots 3)h_y$
	Более 30	Более 20	$(0{,}6 \ldots 0{,}8)h_y$	$(2 \ldots 2{,}5)h_y$

Определение массы и размеров внутренних цилиндрических и спиральных холодильников описано в подразд. 14.2.

ГЛАВА 15

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТЛИВКИ И ФОРМЫ

Цель этой главы — изложение некоторых особенностей взаимодействия отливки и формы, которые по тем или иным причинам отсутствуют в учебниках по дисциплинам «Теория формирования отливки» Г. Ф. Баландина, а также «Физико-химические основы литейного производства» В. А. Васильева, но которые необходимы технологу при проектировании технологического процесса и последующей его отладке и устранении некоторых дефектов.

В первую очередь это касается происходящих при заливке форм металлом явлений: статического и динамического давления металла на форму и стержни и связанного с этим расчета груза, подутия отливок, выделения газа из форм и стержней и внедрения газа в металл, нагрева поверхностных слоев формы и неоднородности линейной усадки для рассматриваемого размера и ее зависимости от значения этого размера, а также трещин в безопочных формах.

15.1. ДАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА НА ФОРМУ И СТЕРЖНИ

Давление металла на стенки формы и стержни может приводить к раскрытию стыка по линии разъема, уходу металла из формы, всплытию стержней, возникновению подутий, увеличению пригара особенно при резком уменьшении площади сечения формы в направлении ее заполнения (бутылочный эффект), когда скорость резко возрастает и вызывает увеличение давления из-за гидравлического удара.

К расплавленному металлу применимы законы гидравлики: закон Архимеда, закон сообщающихся сосудов, закон Паскаля.

Следует обратить внимание на гидростатический парадокс, который заключается в том, что малая масса жидкости в тонкой высокой трубке определяет силы P и P_1 давления соответственно на дно и верхнюю часть широкого сосуда (рис. 15.1):

$$P = \rho_{ж} g H F; \tag{15.1}$$

$$P_1 = \rho_{ж} g H_1 (F - f), \tag{15.2}$$

где $\rho_{ж}$ — плотность расплава; g — ускорение свободного падения; H и H_1 — две высоты столба расплава; F и f — площади соответственно дна сосуда и тонкой трубки.

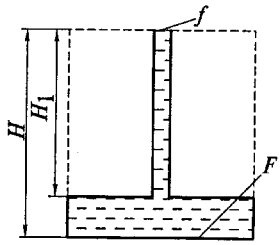


Рис. 15.1. Гидростатический парадокс:

H, H$_1$*, F, f* — значения высоты и площади для пояснения закона сообщающихся сосудов

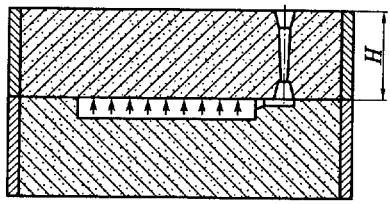


Рис. 15.2. Давление на верхнюю полуформу (плоская отливка):

H — напор металла; стрелками показано давление

Применительно к литейной форме (рис. 15.2) сила давления на верхнюю полуформу может быть определена также по уравнению (15.1).

По существу для этого случая гидростатический парадокс служит проявлением закона сообщающихся сосудов — уровень жидкости в форме стремится занять положение уровня жидкого металла в литниковой воронке.

На рис. 15.2 верхняя поверхность формы плоская и напор H везде одинаков. Для реальных фасонных отливок верхняя поверхность формы не является плоской, она, как правило, сложная, поэтому напор в каждой точке будет разный и расчеты силы давления на верхнюю полуформу усложняются.

Однако можно воспользоваться понятием «тело давления», под которым понимается тело, расположенное в верхней полуформе над отливкой. Тогда сила $P_{\text{с.с}}$, действующая на верхнюю полуформу, определится весом металла, объем которого равен объему $V_{\text{т.д}}$ тела давления: $P_{\text{с.с}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{т.д}}$.

Для цилиндрической отливки (рис. 15.3) объем $V_{\text{т.д}}$ тела давления равен заштрихованному (на рис. 15.3 показано сеткой) объему над отливкой, который определяется разностью объема параллелепипеда, равного $Hl_{\text{о}}D_{\text{о}}$ (где H — высота верхней полуформы, или, точнее, напор металла; $l_{\text{о}}$ — длина отливки в плоскости, перпендикулярной чертежу; $D_{\text{о}}$ — диаметр отливки), и объема отливки, находящейся в верхней полуформе, $\frac{\pi D_{\text{о}}^2}{8} l_{\text{о}}$. Для отливок со сложными очертаниями их проекции на плос-

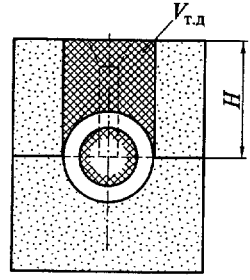


Рис. 15.3. Тело давления для цилиндрической отливки:

$V_{\text{т.д}}$ — объем тела давления; H — напор металла

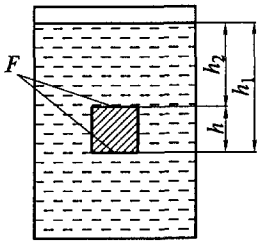


Рис. 15.4. Иллюстрация независимости выталкивающей силы от глубины погружения тела:
F — площадь его верхней и нижней поверхности; h_1, h_2 — расстояния от поверхности жидкости до нижней и верхней поверхностей тела; h — высота тела

кость разъема вместо произведения $l_o D_o$ используется площадь проекции отливки на плоскость разъема.

При определении силы, действующей на верхнюю полуформу, необходимо учесть силу $P_{выт}$, выталкивающую стержни в соответствии с законом Архимеда: $P_{выт} = \rho_ж g V_{ст}$, где $V_{ст}$ — объем части стержня, погруженного в расплав (без знаковых частей).

Следует отметить два важных обстоятельства относительно силы $P_{выт}$: выталкивающая сила не зависит от глубины погружения, и она изменяется в процессе заливки (погружения) стержня.

Первое обстоятельство является очевидным, так как на какой глубине не находился бы куб (параллелепипед), выталкивающая сила будет одинакова и может быть определена из выражения (рис. 15.4)

$$P_{выт} = \rho_ж g(h_1 - h_2)F = \rho_ж g V,$$

где разность высот $h_1 - h_2 = h$ — высота куба (параллелепипеда); F — площадь поверхности тела, перпендикулярной чертежу, V — объем куба.

Для иллюстрации второго обстоятельства рассмотрим пять возможных вариантов (рис. 15.5, *I*— *V*) и проследим, как изменяется выталкивающая сила по мере погружения (заливки) стержней в зависимости от координаты h (рис. 15.6).

Изменение выталкивающей силы для горизонтального стержня (см. рис. 15.5, *I*) соответствует классическим представлениям: выталкивающая сила начинает расти от момента соприкосновения стержня с металлом до его полного погружения, затем она остается постоянной, независимой от глубины погружения до

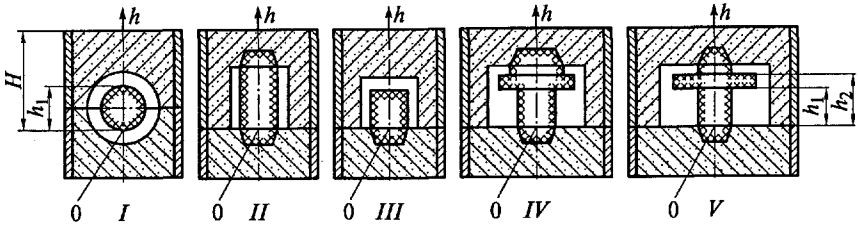


Рис. 15.5. Возможные варианты (*I*— *V*) размещения стержней в форме:
0 — начало координат; h — ось ординат; H, h_1, h_2 — расстояния от начала координат

окончания заполнения формы (кривая *I* на рис. 15.6). На схеме *II* (см. рис. 15.5) выталкивающая сила равна нулю в течение всего времени заполнения, металл оказывает давление только на боковую поверхность стержня (прямая *II* на рис. 15.6). Для схемы *III* на рис. 15.5 выталкивающая сила сначала также равна нулю, затем под действием металла на верхнюю поверхность стержня он придавливается силой, возрастающей до окончания заполнения (кривая *III* на рис. 15.6). Для схемы *IV* на рис. 15.5 выталкивающая сила равна нулю до высоты h_1, затем она начинает расти до $h = h_2$ (кривая *IV* на рис. 15.6). Дальнейший ход изменения выталкивающей силы будет зависеть от соотношения площадей нижней ($F_н$) и верхней ($F_в$) частей стержня по отношению к выступу. При $F_в = F_н$ (см. рис. 15.5, *V*) выталкивающая сила не будет изменяться и останется постоянной (кривая *V* на рис. 15.6), при $F_в > F_н$ она будет увеличиваться и этот процесс продолжится до заполнения формы, но с меньшей скоростью, чем в интервале высот $h_1 ... h_2$. Наконец, начиная с момента, когда $F_в < F_h$, выталкивающая сила начнет уменьшаться (штриховая кривая на рис. 15.6) и при $h = H$ может быть положительной величиной, а может достичь нуля или отрицательных величин (стержень будет придавлен).

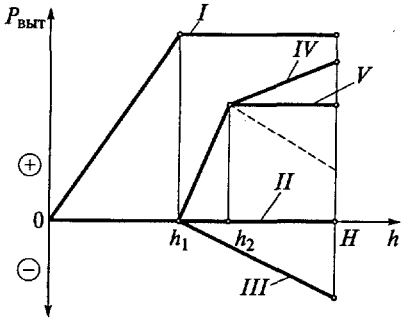


Рис. 15.6. Изменение выталкивающей силы $P_{выт}$ при заполнении форм, соответствующих вариантам *I*— *V* на рис. 15.5:
h, *H*, h_1, h_2 — то же, что на рис. 15.5

В случаях *I*, *II*, *IV*, *V* на рис. 15.5 имеется горизонтальное сечение стержня, при прохождении которого выталкивающая сила достигает максимума, а затем может уменьшаться. Такое сечение называется «опасным». При решении вопроса о всплытии стержней необходимо помнить об опасном сечении.

15.2. РАСЧЕТ ГРУЗА

Для предотвращения раскрытия стыка формы и ухода металла на верхнюю полуформу, как и в старину, укладывают груз, а также прибегают к различным способам скрепления опок с помощью скоб, болтов, эксцентриковых зажимов и т. п., для выбора которых необходимо знать усилие $P_{в.п}$, действующее на верхнюю полуформу.

Собственно, расчет груза $G_{гр}$ и выполняют для определения именно этого усилия, но при этом используют старинное название процедуры «расчет груза».

При расчете груза обязательным является учет описанных ранее двух сил $P_{с.с}$ и $P_{выт}$, наряду с которыми необходим учет также сил $P_{л.с}$ и $P_{п}$, определяемых площадью проекции на плоскость разъема элементов литниковой системы (особенно для мелких отливок) и площадью проекции прибылей.

Противодействующими названным силам являются силы тяжести верхней опоки и смеси в ней (за вычетом смеси в объеме отливки и знаков стержней), а также вес стержней со знаками.

Раскрытие стыка чаще всего приходит от действия момента сил, возникающего из-за несовпадения точки приложения равнодействующей сил, действующих на верхнюю полуформу со стороны металла, и сил тяжести. Равновесие сил, рассмотренное выше, относится к статике. Но в момент окончания заливки поднимающийся в форме металл сталкивается с неподвижными стенками формы и стержнями. Происходит соударение, называемое «гидравлическим ударом», который также может оказать влияние на раскрытие стыка.

Решение описанной задачи является сложным и трудоемким, а в некоторых случаях невозможным. Поэтому при расчете груза момент сил и гидравлический удар учитывают коэффициентом запаса $K = 2$, тогда расчетное уравнение принимает следующий вид:

$$P_{в.п} = G_{гр} = K(P_{с.с} + P_{выт} + P_{л.с} + P_{п}) - (m_{в.о} + m_{ф.с} + m_{стерж})g,$$

где $m_{в.о}$, $m_{ф.с}$, $m_{стерж}$ — соответственно масса верхней опоки, масса формовочной смеси в ней и масса стержней; g — ускорение свободного падения тел, $g = 9{,}81$ м/с^2.

Следует иметь в виду, что коэффициент запаса K относится к силам, действующим на верхнюю полуформу со стороны металла.

15.3. ПОДУТИЕ ОТЛИВОК

Под подутием отливок понимается изменение размеров отливки под действием давления металла, вызывающего движение стенок литейной формы.

Для охватываемых формой размеров отливки подутие приводит к увеличению размеров, а для охватывающих форму размеров — к их уменьшению.

В основном подутие проявляется на стальных и чугунных отливках, когда плотность жидкого металла достаточно высока. Однако даже для этих сплавов ($\rho_ж = 7000$ кг/м^3) при наиболее распространенном напоре 300 мм давление металла составляет небольшую величину:

$$P = \rho_ж gH = 7000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}3 \approx 21000 \text{ Н/м}^2 \approx 0{,}21 \text{ кгс/см}^2,$$

и возникает вопрос, как такое малое давление вызывает подутие?

Можно назвать несколько причин подутия. Первой причиной является неоднородность уплотнения форм даже при высоких давлениях прессования, которая связана с трением смеси о модель, особенно в узких карманах. При этом речь идет о локальных перемещениях стенок формы.

Второй причиной является то, что максимальное перемещение смеси в центре гибкой колодки, которой является жидкий металл, на 35 % больше, чем перемещение при нагружении жесткой колодкой.

Третьей причиной является различие напряженного состояния смеси при уплотнении смеси в опоке и при нагружении ее жидким металлом из полости формы. Для пояснения этого были проведены эксперименты с тремя схемами нагружения *а*—*в* (рис. 15.7) и построены три зависимости в координатах «напряжение в смеси — перемещение смеси» (рис. 15.7, *г*). При нагружении по схеме *а* наблюдаются существенно большие перемещения смеси, чем при нагружении по схеме *в*, соответствующей уплотнению смеси в опоке. При нагружении по схеме *а*, примерно соответствующем нагружению жидким металлом, наблюдается горизонтальный участок, похожий на площадку текучести и возникающий при напряжениях, приблизительно соответствующих пределу прочности при испытании стандартного образца (схема *б*), уплотненного до плотности, одинаковой с испытанием по схеме *в*.

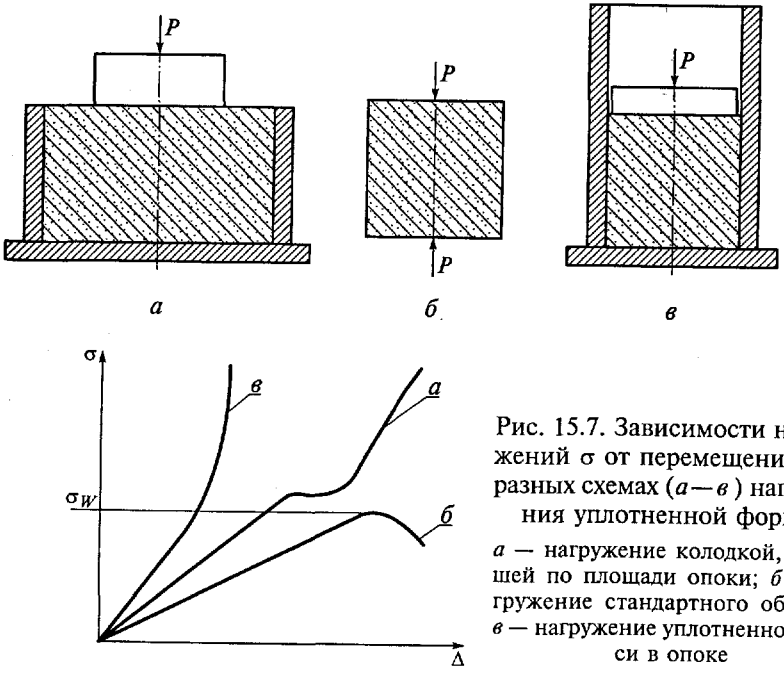


Рис. 15.7. Зависимости напряжений σ от перемещений при разных схемах (*а*—*в*) нагружения уплотненной формы:

а — нагружение колодкой, меньшей по площади опоки; *б* — нагружение стандартного образца; *в* — нагружение уплотненной смеси в опоке

Реально эта площадка, а следовательно, и подутие могут возникнуть в любой точке рабочей полости формы, изготовленной на встряхивающих машинах с подпрессовкой порядка 20...30 Н/см^2 (около 2...3 кгс/см^2). Для этого случая используется низкопрочная смесь с пределом прочности при стандартном уплотнении $\sigma_{\text{ш}}$ = = 5 Н/см^2 (0,5 кгс/см^2). Уплотненность формы на названных машинах, как правило, бывает слабее, чем при стандартном уплотнении (три удара копра). Если учесть еще увеличение давления при гидравлическом ударе (примерно в 2 раза), то при напоре металла 300 мм в формах вполне реальным становится образование горизонтальной площадки (см. кривую *а*), т.е. возникновение подутия.

Уменьшения подутия можно достичь увеличением уплотненности низкопрочных смесей, но кардинальным решением является применение высокопрочных смесей с соответствующим уплотнением и существенное повышение точности отливок. Следует заметить, что на встряхивающих машинах достичь уплотнения высокопрочной смеси нереально.

Наконец, четвертой причиной подутия является образование зоны конденсации влаги в сырой форме после заливки, которая имеет повышенную влажность и способна доуплотняться при малых давлениях.

Однако следует заметить, что для небольших отливок до момента образования на отливке заметной твердой корки зона конденсации не успевает развиться и увеличение подутия за счет ее влияния, как показывают расчет и эксперименты, составит максимум 10 %.

Таким образом, под влиянием перечисленных четырех причин возникают систематические погрешности подутия формы (чаще всего локальные), которые необходимо учитывать в линейной усадке отливки (не сплава) и которые составляют одну из причин колебаний ее размера.

15.4. ОБРАЗОВАНИЕ ГАЗОВЫХ РАКОВИН В ОТЛИВКАХ

Газовые дефекты в отливках подразделяются на сосредоточенные газовые раковины и газовую пористость.

Образование газовых дефектов может происходить по следующим трем причинам:

- выделение растворенного газа из сплава при затвердевании;
- захват (подсос) газов при заливке;
- внедрение в отливку газов из формы и стержней.

Выделение растворенного в сплаве газа при затвердевании отливки и образование в основном газовой или газоусадочной пористости рассмотрены в дисциплине «Литейные сплавы и плавка».

Захват газов при заливке формы предотвращается, если в литниковой системе обеспечивается положительное давление на ее стенки.

Поэтому ниже будет рассмотрено только образование газовых раковин из-за внедрения в расплав газов, выделяющихся из формы и стержней, пока металл находится в жидком состоянии.

Условие внедрения газов из формы и стержней в отливку. При заливке форма и стержень нагреваются, и в результате их газотворности начинается выделение газов, например в точке A (рис. 15.8). Дальнейшее движение газов возможно по двум путям: от отливки в форму и далее в атмосферу (путь *1*) и из формы в расплав металла (путь *2*).

Для этих вариантов направленного движения газов должны выполняться следующие неравенства:

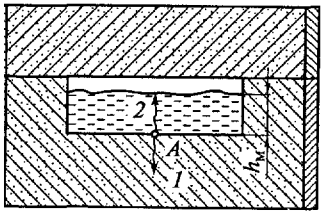
$$p_A < p_м + p_ф \pm p_к = \sum p; \qquad (15.3)$$

$$p_A > p_м + p_ф \pm p_к = \sum p, \qquad (15.4)$$

где p_A — давление газов в точке A; $p_м = \rho_ж g h_м$ — давление жидкого металла; $p_ф$ — давление над уровнем металла в форме; $p_к = 2\sigma/r$ — капиллярное давление металла в порах формовочной смеси радиусом r; $h_м$ — высота слоя расплава; σ — поверхностное натяжение жидкого металла.

Если выполняется неравенство (15.3), то газ уходит в атмосферу, а если справедливо неравенство (15.4), то газ будет внедряться в металл. Знак «+» относится к смачиванию формы металлом, знак «–» — к несмачиванию.

Практический интерес представляет неравенство (15.4). При его реализации внедрившийся пузырек газа будет быстро всплывать. Если форма не заполнена и поверхность металла не покрыта пленкой окидов, то он уйдет в атмосферу. Если форма заполнена и на поверх-



ис. 15.8. Возможные направления движения пузырька A газа:

— от отливки в форму и далее атмосферу; *2* — из формы в еталл; $h_м$ — высота слоя расплава

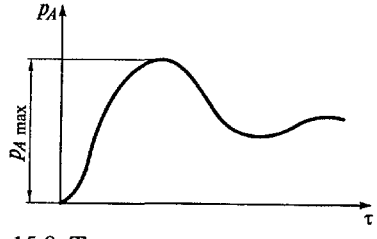


Рис. 15.9. Типичное изменение во времени τ давления газов в форме:

$p_{A\,max}$ — максимальное давление газов на границе металл — форма

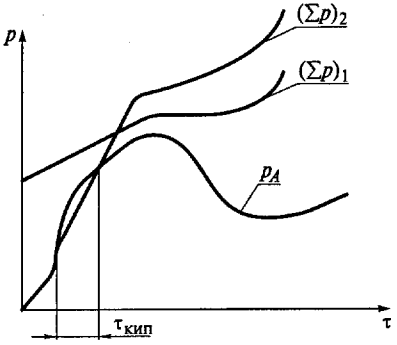


Рис. 15.10. Изменение давлений p_A и $\sum p$ во времени:
$(\sum p)_1$ — газ уходит в атмосферу; $(\sum p)_2$ — газ внедряется в металл; $\tau_{кип}$ — продолжительность «кипения» металла

ности контакта нет препятствий (в виде пленки оксидов, оплавления поверхности формы), то пузырек также уйдет в атмосферу через газопроницаемую форму.

Экспериментально доказано, что при выполнении неравенства (15.4) в течение некоторого времени газ внедряется в металл и часто происходит его «кипение». При невозможности уйти в атмосферу внедрившиеся пузырьки газа останутся в металле в виде газовых включений (раковин).

Многочисленными экспериментами установлено, что давление p_A газов после заливки формы изменяется по типичной кривой (рис. 15.9).

Изменение давлений p_A и $\sum p$ во времени представлено на рис. 15.10. Показано, как давление $\sum p$ изменяется по двум вариантам. В одном из них кривые $(\sum p)_1$ и p_A не пересекаются, и реализуется неравенство (15.3), в другом — кривые $(\sum p)_2$ и p_A пересекаются, в период времени $\tau_{кип}$ реализуется неравенство (15.4) и происходит «кипение» металла с возможным образованием раковин.

Основное значение в правой части неравенств (15.3) и (15.4) имеет величина $p_м$. Величина $p_ф$, как правило, мала (порядка 0,3 кПа) и не играет существенной роли, особенно при наличии выпоров. Давление $p_к$ для чугуна, например, составляет порядка 10 кПа. Однако следует подробнее остановиться на капиллярном давлении, величина которого связана с поверхностным натяже-

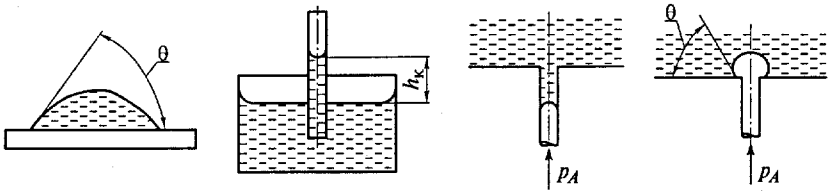


Рис. 15.11. Смачивание расплавом формовочной смеси:
а — капля на твердой поверхности: θ — угол смачивания; *б* — жидкость в капилляре: $h_к$ — высота поднятия (опускания) жидкости; *в* — расплав металла в поре формовочной смеси: p_A — давление газов на границе металл—форма; *г* — газ внедряется в металл: p_A — давление газа

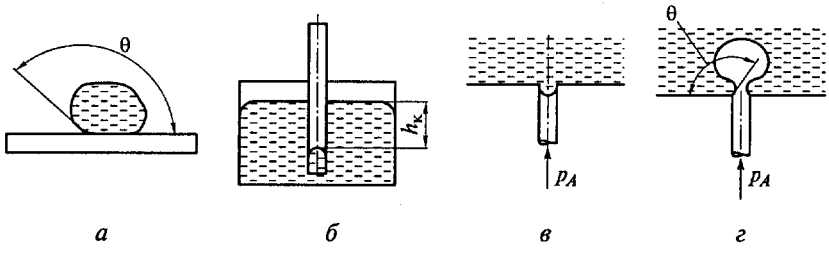


Рис. 15.12. Несмачивание расплавом формовочной смеси (обозначения те же, что на рис. 15.11, но в случае *г* газ внедряется в металл с пережимом)

нием и со средней кривизной поверхности. При контакте жидкости с твердыми телами на форму поверхности жидкости существенное влияние оказывают условия смачивания, которое обусловлено взаимодействием молекул жидкости и твердого тела. Случай смачивания твердого тела (рис. 15.11, *а*) рассмотрен применительно к капилляру (рис. 15.11, *б*) и единичному капилляру (поре) в формовочной смеси, в который внедряется металл (рис. 15.11, *в*) и газ (рис. 15.11, *г*). Случай несмачивания для аналогичных вариантов взаимодействия жидкости и твердого тела рассмотрен на рис. 15.12.

Силы притяжения, действующие между молекулами твердого тела и смачивающей его жидкости (см. рис. 15.11, *а*), заставляют ее подниматься по стенке сосуда, что приводит к искривлению примыкающего к стенке участка поверхности жидкости, а в капилляре определяет высоту $h_к$ капиллярного поднятия жидкости (см. рис. 15.11, *б*). Жидкость, не смачивающая поверхность, образует выпуклый мениск (см. рис. 15.12, *б*), что вызывает ее опускание в капилляре ниже уровня свободной поверхности на высоту $h_к$.

Аналогичная картина наблюдается и в единичном капилляре. В случаях смачивания и несмачивания могут наблюдаться оба варианта, соответствующие неравенствам (15.3) и (15.4). Когда выполняется неравенство (15.3), металл внедряется в поры формы, но глубина внедрения больше для случая смачивания (см. рис. 15.11, *в* и рис. 15.12, *в*). Если выполняется неравенство (15.4), то газовый пузырек внедряется в рассматриваемые жидкие металлы по-разному. Для случая смачивания пузырек уходит (отрывается) из капилляра (поры), не оставляя зародыша. Для случая несмачивания в соответствии с углом θ, который отсчитывают со стороны жидкости, пузырек отрывается после образования пережима и оставляет на поверхности зародыш.

На основании рассмотренной картины можно заключить, что внедрение газа в расплав в случае несмачивания происходит при меньшем давлении (капиллярное давление в правой части со знаком «–»). Кроме того, на поверхности остается зародыш. Напро-

тив, при смачивании капиллярное давление в неравенствах с «+», и внедрение газов в металл происходит при большем давлении, а после отрыва пузырька на поверхности не остается зародыша.

Как известно, для предотвращения пригара на чугунных отливках в формовочную смесь вводят добавки, которые под действием теплоты выделяют пироуглерод, который не смачивается ни металлом, ни его оксидами. Очевидно, что при предотвращении пригара ухудшаются условия для внедрения газа в металл и образования газовых раковин, но литейщики предпочитают вводить углеродистые добавки в смесь, предупреждая образование газовых раковин другими способами.

Следует подчеркнуть, что схемы, приведенные на рис. 15.11, *г* и рис. 15.12, *г*, подтверждены экспериментально на прозрачных кристаллизующихся расплавах.

Для предупреждения образования газовых раковин можно применять три группы мер. К первой группе относятся мероприятия по уменьшению газового давления p_A и увеличению давления $\sum p$. Ко второй — создание препятствий внедрению газа в расплав, к третьей — создание условий для выхода внедрившегося газа из металла.

В первой группе мероприятий следует назвать уменьшение газотворности смесей, увеличение их газопроницаемости и пропускной способности, которая зависит не только от газопроницаемости, но и от площади потока и длины пути фильтрации. В стержнях газовый поток сходящийся, а в форме — расходящийся. Именно поэтому газопроницаемость стержневых смесей больше, чем формовочных.

К этой же группе относятся наколы в форме, газоотводные каналы в стержнях. Стержни предпочтительнее делать пустотелыми или заполнять сердцевину стержней крупнокусковым материалом, а знаковые части стержней не окрашивать или зачищать краску.

Положительного результата можно добиться увеличением давления жидкого металла $p_м$. Однако в текущем производстве этот путь практически не реализуем.

Незначительного увеличения давления $\sum p$ можно достичь устранением выпоров. В настоящее время на автоматических линиях и при машинной формовке выпоры практически не применяются.

Вторая группа мероприятий сводится к окрашиванию форм и стержней и созданию на их рабочей поверхности слоя с нулевой газопроницаемостью. При этом достигаются два эффекта: предотвращаются образование пригара (основное назначение окрашивания) и внедрение газов из форм и стержней в расплав.

Третья группа мероприятий допускает «кипение» металла и реализуется, главным образом, за счет повышения температуры заливки, если такая возможность имеется, так как повышение

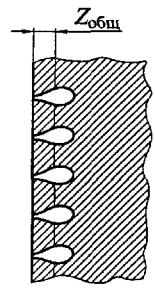


Рис. 15.13. Ситовидная пористость:
$Z_{общ}$ — общий припуск на механическую обработку

температуры может отрицательно влиять на другие показатели качества отливок. Например, как уже отмечено выше, при повышении температуры увеличивается пригар. Кроме того, потолок формы можно выполнить из смеси с малой теплоаккумулирующей способностью. Твердая корка на потолке будет образовываться позже, и при кипении газ будет уходить из отливки через поры формы.

Наряду с внедрением газов в металл из формы и стержней к образованию газовых раковин приводят и другие причины. Например, газовые дефекты могут возникнуть из-за неподготовленности поверхности стальных жеребеек, которые в основном используются при изготовлении чугунных отливок. Подготовка заключается в очистке жеребеек от окалины или даже лужении, меднении или пассивировании их поверхности. При наличии на поверхности жеребеек окалины возможна нежелательная реакция с выделением CO

$$FeO + C \rightarrow Fe + CO\uparrow,$$

способствующая образованию раковин.

Причиной может явиться и конденсация влаги на холодильниках, установленных в сырых формах, заливка которых происходит с задержкой.

Следует также отметить газовые дефекты, называемые «ситовидной пористостью» (рис. 15.13), которая представляет собой чаще всего вытянутые перпендикулярно поверхности формы раковины с гладкой поверхностью диаметром 2...3 мм. Такие раковины располагаются непосредственно под литейной коркой, их протяженность 1...6 мм. Данный дефект, встречающийся на стальных и чугунных отливках, получил свое название по напоминающему сито внешнему виду поверхности отливки после механической обработки.

Механизм образования ситовидной пористости в настоящее время до конца не ясен. По одному из вариантов объяснения появления ситовидной пористости в стальных отливках из-за плохой раскисленности металла или образования моноксида железа FeO при заливке сырой формы происходит реакция

$$2FeO + H_2O \rightarrow Fe_2O_3 + 2H\uparrow.$$

Атомарный водород диффундирует к границе между твердой и жидкой фазами, где и происходит реакция восстановления моноксида железа с образованием водяного пара:

$$FeO + 2H \rightarrow Fe + H_2O\uparrow.$$

Водяной пар не растворяется в жидком металле, и именно он вызывает появление изображенных на рис. 15.13 свищей, или ситовидной пористости.

Поэтому основной мерой для предотвращения данной пористости является раскисление стали алюминием в количестве 1,5 кг/т стали.

Для предотвращения образования ситовидной пористости в чугунных отливках необходимо, чтобы содержание алюминия и титана в металле было менее 0,01 и 0,02 % соответственно. Основные источники попадания алюминия в чугун — шихта, модификатор, например ферросилиций, в котором содержится 1,0... 1,5 % алюминия.

Ситовидная пористость в чугунных отливках возникает также от стержней, изготовленных из смеси, связующее которой содержит значительное (до 10 % и выше) количество азота (см. табл. 3.31).

15.5. НАГРЕВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ФОРМЫ И СВЯЗАННЫЕ С ЭТИМ ЯВЛЕНИЯ

На начальном этапе заливки некоторые поверхности формы интенсивно нагреваются сначала только за счет излучения тепловой энергии жидкого металла. Далее в процессе заливки нагрев всех рабочих поверхностей формы происходит только за счет контакта с металлом. Результатом нагрева являются образование сухой корки формы, ее последующее термическое расширение и, как следствие, появление ужимин, трещин в безопочной форме и неоднородности линейной усадки отливки, а также ее зависимости от номинального значения рассматриваемого размера.

Для термического расширения сухой корки характерны некоторые особенности. Во-первых, оно не является свободным и происходит в условиях взаимодействия с основной массой смеси по зоне конденсации. Во-вторых, сухая корка образуется на всей рабочей поверхности и представляет собой сложную замкнутую напряженную конструкцию, напряжения в которой возникают из-за ее расширения и неоднородного распределения температуры по ее толщине. В-третьих, сухая корка является растущим телом, толщина и масса которого непрерывно увеличиваются. Рассмотрение напряженно-деформируемого состояния сухой корки как растущего тела показало, что, например, термическое расширение растущей сухой корки всегда больше, по сравнению с обычной нагреваемой сухой коркой. Более того, термического расширения сухой корки, казалось бы, происходить не должно, если на одной границе сухая корка имеет температуру, равную температуре испарения воды, а на другой — уменьшающуюся со време-

нем температуру, равную температуре охлаждающейся отливки. Тем не менее, эксперименты показывают, что происходит непрерывное увеличение термического расширения сухой корки.

Далее будут рассмотрены явления, связанные с расширением сухой корки, с позиций обычных представлений, но при допущении, что сухая корка непрерывно расширяется, так как использование представлений о сухой корке как растущем теле отличается сложностью и трудоемкостью.

Следует отметить, что представления о растущем теле, используемые для исследования сухой корки, зоны конденсации и основной массы смеси в литейном производстве, необходимы также при рассмотрении напряженного состояния затвердевающей отливки, образования усадочных раковин и формирования стержней в нагреваемой оснастке с точки зрения формировании их размеров, усилий извлечения и т.п.

15.5.1. Неоднородность термического расширения сухой корки и влияние его на линейную усадку отливки

Термическое расширение сухой корки в продольном направлении происходит в условиях ее сцепления с основной массой смеси, поэтому возникающие от смещения напряжения сцепления по мере удаления от концов сухой корки увеличиваются и сильнее затрудняют (подавляют) ее термическое расширение. Наибольшее расширение сухой корки происходит на концах, а в более удаленных сечениях оно будет практически подавлено. Это явление названо «концевым эффектом» [50].

Очевидно, что среднее термическое расширение формы вопреки традиционным представлениям будет зависеть от величины рассматриваемого размера, уменьшаясь с его увеличением.

На размеры отливок термическое расширение сухой корки влияет на стадиях отвода теплоты перегретого металла и теплоты, выделяющейся при его затвердевании. Пока металл жидкий, он следует за неоднородно расширяющейся сухой коркой под действием силы тяжести. Отливка при затвердевании, точнее ее затвердевающая корка, растягивается расширяющейся формой до начала усадки отливки, формируя ее предусадочное расширение независимо от вида заливаемого сплава. В результате окончательная усадка отливки также вопреки традиционным представлениям оказывается неоднородной по длине: на концах она меньше, чем в середине, и вследствие этого средняя линейная процентная усадка будет зависеть от длины, возрастая с ее увеличением.

Экспериментальные измерения линейной усадки по участкам цилиндрических образцов белого и серого чугунов подтвердили изложенные выше положения (рис. 15.14) [49] о неоднородности

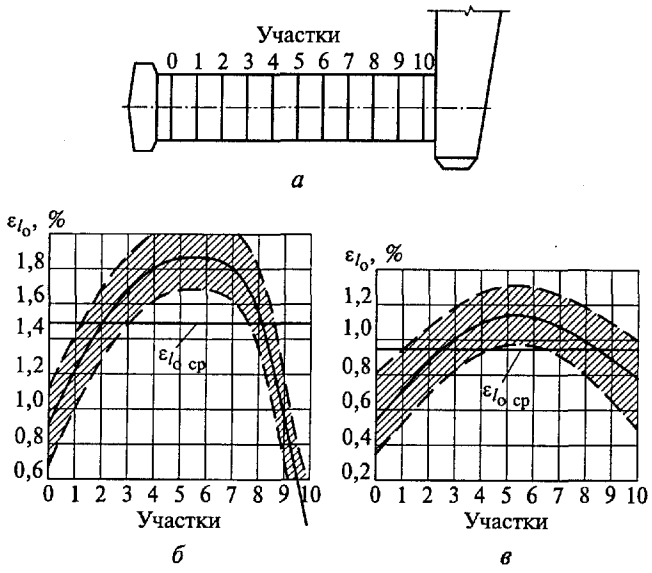


Рис. 15.14. Цилиндрическая отливка (*а*) и неоднородность линейной усадки по ее длине ε_{l_o} для белого (*б*) и серого (*в*) чугунов:

$\varepsilon_{l_o\,ср}$ — средняя линейная усадка отливки

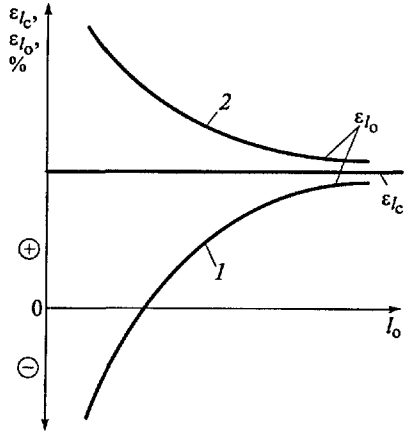


Рис. 15.15. Зависимость линейной усадки отливок из серого чугуна СЧ15, СЧ20 от номинальных значений охватываемых формой (*1*) и охватывающих форму (*2*) размеров:

ε_{l_o}, ε_{l_c} — линейная усадка соответственно отливки и сплава; l_o — рассматриваемый размер отливки

линейной усадки по длине. Были проведены также статистические измерения моделей и отливок большой номенклатуры из серого, ковкого и высокопрочного чугунов и углеродистой стали. В результате статистической обработки результатов измерений установлены зависимости средней линейной усадки отливок от номинального значения рассматриваемого размера, которые использованы при компьютерной разработке технологии отливок (см. подразд. 18.7). Для примера на рис. 15.15 приведена зависимость линейной усадки автомобильных отливок из серого чугуна в поточно-механизированном производстве от номинального значения размера. На этом же рисунке приведена линейная усадка серого чугуна (ε_{l_c}) как сплава.

Следует обратить внимание, что для размеров, меньших 100 мм, наблюдается «отрицательная» усадка: размер отливки больше размера модели. Явление отрицательной усадки связано с подутием (см. подразд. 15.3) и шероховатостью поверхности, которые автоматически включаются в размер отливки при его измерении двухточечным инструментом. Поэтому выше используется термин «линейная усадка отливки», которая формируется не только за счет усадки сплава, но и является результатом взаимодействия отливки и формы (подутие, шероховатость, пригар), а также зависит, например, от операции «расталкивания» формы при извлечении модели.

15.5.2. Ужимины

Одной из основных причин образования ужимин является образование сухой корки формы, ее нагрев и расширение. Поэтому ужимины справедливо относят к дефектам расширения формовочной смеси, так как они появляются на отливках, изготовленных в формах на основе кварцевого песка, и отсутствуют на отливках, изготовленных в формах на основе циркона, хромита, оливина, т.е. в формах из материалов, имеющих меньший температурный коэффициент линейного расширения, чем у кварцевого песка.

Самая распространенная схема образования ужимин на потолке формы представлена на рис. 15.16. Заливаемый металл своей излучательной энергией нагревает потолок формы, в результате образуются сухая корка и зона конденсации за ней. По мере подъема уровня металла в полости формы при его приближении к потолку формы в сухой корке либо уже образовалась трещина, либо она образуется от соударения с заливаемым металлом, который и заполнит трещину. Следовательно, время образования ужимин сопоставимо с временем заливки формы.

В нижней полуформе ужимины образуются, но реже и преимущественно при рассредоточенном струйном подводе металла.

При анализе образования ужимин используют, как правило, две схемы, из которых одну относят к незатрудненному (рис. 15.17, *а*), а другую — к затрудненному (рис. 15.17, *б*) образованию ужимин. Из названия должно быть ясно, что в первом случае ужимины образуются легче, чем во втором. В пробе для определения склонности смеси к образованию ужимин также используется случай незатрудненного образования ужимин (рис. 15.18).

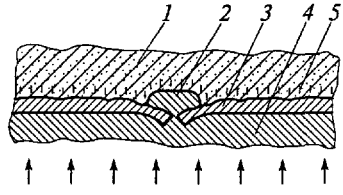


Рис. 15.16. Схема образования ужимины:
1 — основная масса смеси; *2* — ужимина; *3* — сухая корка; *4* — отливка; *5* — зона конденсации

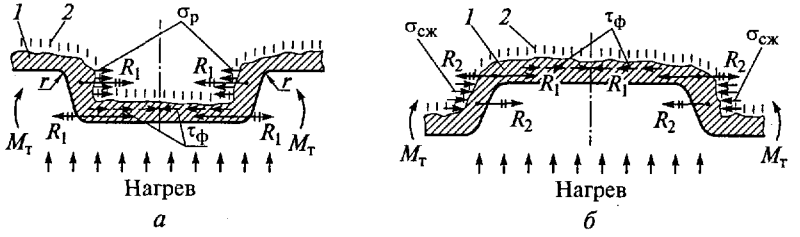


Рис. 15.17. Схема образования ужимин по варианту развития процесса:

а — незатрудненному; *б* — затрудненному; *1* — сухая корка; *2* — зона конденсации; $M_т$ — термический момент; R_1 — равнодействующая напряжений растяжения; $\sigma_р$ — напряжения растяжения; $\tau_ф$ — касательные напряжения, воздействующие на сухую корку со стороны зоны конденсации; r — радиус сопряжения; R_2 — равнодействующая напряжений сжатия; $\sigma_{сж}$ — напряжение сжатия

Основным моментом для понимания процесса образования ужимин является вопрос о том, почему образуется трещина в хрупкой сухой расширяющейся корке.

Ответ на этот вопрос можно получить на основании анализа схемы сил, действующих на сухую корку в двух названных случаях образования ужимин (см. рис. 15.17).

В обоих случаях термическому расширению сухой корки, как уже упоминалось выше, препятствуют напряжения $\tau_ф$ сцепления с основной массой смеси формы на горизонтальных участках. Кроме того, сухая корка образуется и на наклонных поверхностях, и в рассматриваемых случаях она представляет собой коробчатую конструкцию. Горизонтальному перемещению сухой корки препятствуют не только напряжения $\tau_ф$ сцепления, но также напряжения растяжения $\sigma_р$ (см. рис. 15.17, *а*) и сжатия $\sigma_{сж}$ (см. рис. 15.17, *б*), связанные соответственно с отрывом вертикальной корки и ее вдавливанием в основную массу смеси. Заменим распределенные напряжения растяжения $\sigma_р$ силой R_1, а напряжения сжатия $\sigma_{сж}$ — силой R_2. Перенесем силы R_1 и R_2 в срединную плоскость горизонтальной сухой корки, соответственно уравновесив их. Замечаем, что силы R_1 и R_2 по отношению к горизонтальной корке образуют изгибающий момент. В случае, показанном на рис. 15.17, *а*, этот момент стремится оторвать горизонтальную сухую корку от основной массы смеси, а в случае, приведенном на рис. 15.17, *б*, — вдавить ее.

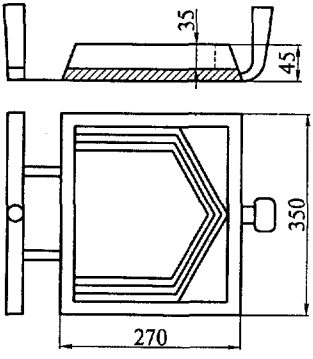


Рис. 15.18. Технологическая проба для определения склонности формовочных смесей к образованию ужимин

Кроме момента сил R_1 и R_2 на сухую корку с неоднородным распределением температур действует термический момент, изгибающий сухую корку в сторону источника ее нагрева. «Термическим моментом» в технике называется момент, который вызывает такой же прогиб тела, как и тепловая нагрузка с неоднородным распределением температур.

Заметим также, что для случая, приведенного на рис. 15.17, *а*, момент сил R_1 и термический момент совпадают по знаку — они оба стремятся оторвать сухую корку, а в случае, показанном на рис. 15.17, *б*, они действуют в противоположных направлениях. При появлении некоторого прогиба от моментов он (прогиб) будет увеличиваться от действия продольных сил, действующих на горизонтальную сухую корку, — сил R_1 и R_2 и равнодействующей напряжений $\tau_ф$ сцепления. При этом прогиб в случае, приведенном на рис. 15.17, *б*, будет реализовываться в сторону смеси.

Очевидно, что вероятность отрыва сухой корки по варианту, изображенному на рис. 15.17, *а*, намного больше, чем по модели на рис. 15.17, *б*. Так как сухая корка является хрупким телом, сразу же после отрыва в ней появляется трещина, которая окажется заполненной металлом.

Следует отметить, что отрыв и трещины должны возникнуть в горизонтальной корке на небольшом расстоянии от места сопряжения сухой корки, образующейся на горизонтальной и наклонной поверхностях, так как зона действия моментов для сухой корки, связанной с основанием (основной массой смеси), ограничена, что и подтверждается практическими наблюдениями.

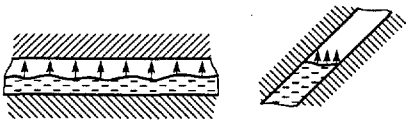
Также экспериментально установлено, что для случая на рис. 15.17, *а* ужимины не образуются, если нагревать только горизонтальный участок сухой корки, закрыв теплоизолирующим материалом наклонные вертикальные поверхности. Следовательно, отрыв и трещина в сухой корке на развитых горизонтальных поверхностях могут возникать при наличии возмущений: неоднородных плотности, влажности и т. п.

Таким образом, на образование ужимин действуют три группы факторов, из которых первая влияет на термические напряжения в сухой корке, вторая — на прочность в зоне конденсации, по которой происходит отрыв сухой корки, и третья определяется конструкцией отливки.

При рассмотрении п е р в о й группы факторов учитываются термические напряжения $\sigma_к$ в сухой корке, которые определяются из уравнения

$$\sigma_к = \alpha_к E_к \Delta T_к,$$

где $\alpha_к$ — температурный коэффициент линейного расширения, $К^{-1}$; $E_к$ — модуль упругости сухой корки, $Н/м^2$; $\Delta T_к$ — разность температур, К.



а *б*

Рис. 15.19. Заливка формы в горизонтальном (*а*) и наклонном (*б*) положении (стрелками показано направление теплового потока)

В сильной степени на образование ужимин влияет нагрев потолка формы, который в первую очередь зависит от продолжительности заливки. Известно, что существует критическое время образования ужимин, и поэтому заливку формы необходимо выполнять за возможно меньшее время, что приведет к меньшему нагреву формы. Кроме того, положительный эффект дает заливка формы в наклонном положении. Нагрев формы при этом существенно уменьшается. На рис. 15.19 показано, как происходит нагрев заливаемым металлом ограниченного участка наклонной поверхности. Из опыта также известно, что для предотвращения образования ужимин нужно потолок формы окрасить в белый цвет (увеличить его отражательную способность).

Произведение $\alpha_к E_к$ в вышеприведенном уравнении лучше рассматривать как целое, зависящее от уплотненности формы, наличия и степени выгорания добавок в смеси. В текущем производстве контролируются потери при прокаливании. Это испытание в литейных цехах называют определением трех «п» — п.п.п. (см. подразд. 3.7), которые должны составлять не менее 4 %, в противном случае появляются ужимины и пригар.

Из практики также известно, что в новом литейном цехе серого чугуна раньше, как правило, употребляли отработанную смесь, так как при использовании формовочной смеси из свежих исходных материалов на отливках появлялся сильный брак по ужиминам и пригару.

Появление ужимин связано с отсутствием в смеси из свежих материалов оолитизированных зерен песка, покрытых несколькими слоями бентонита (потерявшей конституционную воду глины). Для справки: слово «оолитизированный», т.е. содержащий оолит (от греч. *ōon* — яйцо + *lithos* — камень), означает яйцеподобный. Наличие рыхлой оолитной оболочки на зернах кварцевого песка облегчает расширение зерен и уменьшает термические напряжения.

Сильный пригар связан с отсутствием в смеси из свежих материалов «блестящего» углерода, который появляется после многократных заливок при наличии в смеси углеродистых добавок.

Ко второй группе факторов относится активирование кальциевого бентонита (в некоторых случаях введением соды непосредственно в бегуны), которое повышает прочность в зоне конденсации. В некоторых случаях в состав формовочной смеси вводятся волокнистые добавки, которые упрочняют связь сухой корки с основной массой смеси. Примером может служить использование костры, являющейся отходом льняного производства.

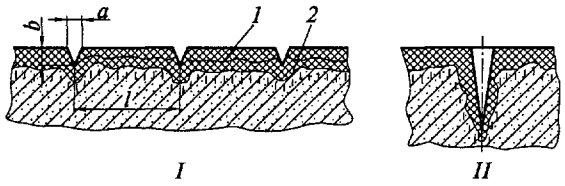


Рис. 15.20. Противоужиминная сетка и параллельные бороздки (*I*) и наколы (*II*). Показаны последовательные толщины сухой корки в начальные (*1*) и последующие (*2*) моменты:

a, *b* — соответственно ширина и глубина бороздки; *l* — шаг нанесенной сетки

Анализ третьей группы факторов затруднен из-за конструктивного многообразия отливок. Однако следует отметить сильное влияние на образование ужимин радиуса *r* сопряжения, точнее радиуса перехода от одной горизонтальный поверхности к другой. Анализ показывает, что для предотвращения образования ужимин этот радиус должен быть больше, чем он принимается при конструировании отливок, когда учитываются возможности образования как усадочных дефектов, так и горячих трещин.

На практике наряду с мерами воздействия против образования ужимин перечисленными факторами на поверхность формы наносят противоужиминный рельеф: противоужиминную сетку, параллельные бороздки и вертикальные наколы на рабочей поверхности формы (рис. 15.20).

В единичном производстве рельеф может быть нанесен вручную, в серийном и массовом производствах он выполняется на моделях. При этом противоужиминная сетка формуется на горизонтальных поверхностях, параллельные бороздки — на наклонных в направлении извлечения моделей (сетка будет препятствовать выему модели). Шпильки для получения наколов монтируются на моделях вертикально, а изготовленные наколы выполняют две функции: наряду с предотвращением образования ужимин служат газоотводными каналами.

Противоужиминная сетка и параллельные бороздки в первые моменты образования сухой корки являются температурными компенсаторами ее расширения. Далее, когда сухая корка будет образовываться и в углублениях, увеличиваются жесткость ребристой сухой корки и поверхность ее сцепления с основной массой смеси. Поэтому изгиб и отрыв образующейся при этом сухой корки будут затруднены по сравнению с плоской сухой коркой.

Размеры сетки и параллельных бороздок: $l = 30...100$ мм, $a = b = 3...4$ мм (рис. 15.20, *I*). Шаг *l* противоужиминной сетки зависит от продолжительности заливки и прочности в зоне конденсации. Чем больше продолжительность заливки и ниже прочность в зоне конденсации, тем меньше шаг сетки.

Наколы также уменьшают склонность формы к образованию ужимин, так как на стенках наколов также образуется сухая корка, которая связывает горизонтальную сухую корку с основной массой смеси, препятствуя ее прогибам, расширению и отрыву. Минимальный диаметр наколов 3 мм, минимальная глубина 30 мм.

Следует отметить, что с появлением автоматических формовочных линий (АФЛ), в которых используются высокопрочные смеси, образование ужимин на отливках практически не происходит, что связано с повышенной прочностью этих смесей в зоне конденсации.

15.5.3. Образование трещин в безопочных формах с вертикальным разъемом

При эксплуатации автоматических формовочных линий безопочной формовки АФЛ «DISA» модель 2070 с размерами форм 950 × 700 × (200...600) мм отмечается периодическое появление специфического дефекта — разрушение форм с образованием трещин вдоль горизонтальной стопки форм, главным образом, по оси чугунных отливок.

Трещины образуются, как правило, спустя некоторое время после окончания заливки. Иногда трещины распространяются на одну-три незалитые формы, что приводит к снижению производительности, поскольку формы с трещинами не заливаются. (В случае их заливки возникнет аварийная остановка из-за ухода металла в трещину и его попадания на транспортную систему.) В некоторых реальных случаях образование трещин приводило к полному отделению кусков и развалу формы на участке заливки, затруднению процесса заливки и остановкам линии.

Если металл не уходит через трещину или трещина еще не стала сквозной, то на отливках образуются заливы высотой 10...15 и толщиной 2...3 мм. Наблюдения показали, что трещины обычно появляются через 30...50 с после начала заливки (продолжительность заливки 14...15 с). С течением времени ширина трещины увеличивается, в залитой форме трещина доходит только до сухой корки, образующейся вокруг отливки.

Образование трещин отмечали и на линиях безопочной формовки с меньшими размерами и металлоемкостью форм (АФЛ конструкции НИИТавтопрома модель 7058, «DISA» модель 2032, АФЛ «Formatik» модель 7272). Оказалось, что основной причиной образования трещин в безопочных формах является термическое расширение образовавшейся вокруг отливки сухой корки. Очевидно также, что образованию трещин способствуют как расширение самого сплава (например, серого чугуна), так и остаточные напряжения, возникшие в процессе изготовления формы, и напря-

жения, возникающие при установке стержней с натягом, при транспортировке и от давления металла при заливке.

После заливки форм вокруг отливок образуется сухая корка, которая интенсивно расширяется. За счет этого на границе сухой корки и основной массы смеси через зону конденсации создается внутреннее давление. Под действием этого давления в основной массе смеси возникают растягивающие напряжения. С течением времени эти напряжения увеличиваются, так как по мере роста сухой корки и ее термического расширения внутреннее давление возрастает. Этому способствует расширение и самой отливки, если она изготовляется из расширяющегося при затвердевании сплава.

По достижении растягивающими напряжениями в основной массе смеси некоторого предельного уровня наступает момент образования трещины. Уровень напряжений в безопочной форме при изготовлении, транспортировке и заливке влияет на время образования трещин.

Приведенное выше описание образования трещин подтверждено экспериментально на форме-пробе (рис. 15.21, *а*), изготовляемой с использованием разборной опоки (рис. 15.21, *б*).

Результаты экспериментов приведены в табл. 15.1, из которой следует, что при повышении температуры заливаемого сплава от 750 до 1350 °С время образования трещин (от момента окончания заливки) резко сокращается; например, в экспериментах *3* и *11* — от 413 до 5 с. При увеличении диаметра отливки от 30 до 60 мм в форме, имеющей одни и те же размеры, время также резко сокращается; например, в экспериментах *13* и *17* — от 128 до 2 с. При увеличении размеров формы для отливки одного и того же диаметра время образования трещин, наоборот, значительно увеличивается. При заливке алюми-

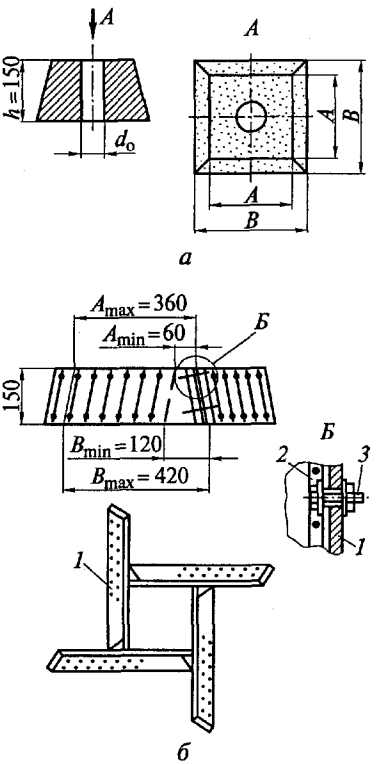


Рис. 15.21. Безопочная форма-проба (*а*) и разборная опока (*б*) для изготовления формы-пробы:

1 — стенка разборной опоки; *2* — уголки для скрепления стенок; *3* — болт

Таблица 15.1. **Время до образования трещин в безопочных формах[*1] в зависимости от вида заливаемого сплава, диаметра d_0 отливки и соотношений h/d_0, A/d_0, B/d_0**

Опыт	d_0, мм	h/d_0	A/d_0	B/d_0	Время до образования трещин, с, от момента окончания заливки
Алюминиевый сплав А7					
1	30	5	2	5	6
2	30	5	3	5	31
3	30	5	4	6	413
4	30	5	5	7	—[*2]
5	60	2,5	2	3	7
6	60	2,5	3	4	180
7	60	2,5	4	5	502
8	60	2,5	5	6	896
9	60	2,5	6	7	—[*2]
Серый чугун					
10	30	5	2	4	Во время заливки
11	30	5	4	6	5
12	30	5	6	8	33
13	30	5	8	10	128
14	30	5	10	12	177
15	30	5	12	14	240
16	60	2,5	2	3	Во время заливки
17	60	2,5	4	5	11
18	60	2,5	5	6	21
19	60	2,5	6	7	38

[*1] Размеры формы: h — высота; A — размер верхнего основания формы; B — то же, нижнего.

[*2] Трещины не возникли.

ния трещина вообще не образуется, если диаметр формы превышает диаметр отливки в 5—7 раз.

Однако путь предотвращения трещин уменьшением массы отливок в форме является нерентабельным. Реальным является путь уменьшения термических напряжений за счет введения органических выгорающих добавок, которые используются для предотвращения появления ужимин (см. подразд. 15.5.2).

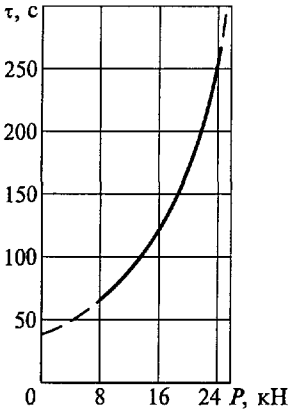


Рис. 15.22. Зависимость времени τ до образования трещин от усилия P прижима

Очевидно также, что, начиная с некоторого размера безопочных форм необходим возврат к опокам, при применении которых проблема трещин не возникает. Одним из способов решения проблемы возврата к опокам является использование боковых прижимов. Эксперименты на реальных безопочных формах при изготовлении чугунных отливок показали, что с увеличением усилия прижима время до образования трещин растет (рис. 15.22). В экспериментах использовали динамометр, который позволял форме расширяться в боковых направлениях. На рис. 15.23 представлена зависимость между перемещением Δ, которое реализует расширяющаяся форма, и усилием P, которое фиксирует динамометр. Начинаются прямые перемещения от предварительного усилия, которым нагружался прижим до начала заливки. Конечные состояния при каждом предварительном усилии соединены прямой, уравнение которой

$$\Delta = 8{,}7 - 3P. \qquad (15.5)$$

Из уравнения (15.5) следует, что при усилии прижима, равном нулю ($P = 0$), перемещение формы Δ составляет 8,7 мм, или 0,9 % размера формы (950 мм). Перемещение формы будет равно нулю, если предварительное усилие, которым нагружается прижим и которое будет подавлять расширение формы, составит 2,9 кН.

Следует заметить, что прижим должен обеспечивать подавление расширения до момента выбивки. При разгрузке практически в любой момент происходит образование трещины и разрушение кома.

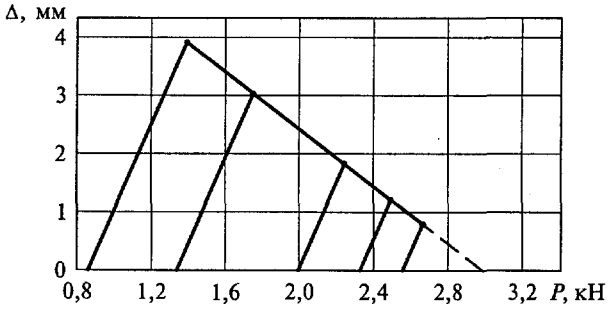


Рис. 15.23. Зависимость перемещения Δ формы от усилия P прижима

ГЛАВА 16

ФОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОТЛИВОК

Точность отливок по размерам, форме, расположению их элементов и массе определяется технологическими параметрами на всех этапах технологического процесса их изготовления, начиная с изготовления форм и стержней и заканчивая выбивкой отливок, финишными операциями и термической обработкой отливок. Поэтому для рассмотрения процесса формирования точности отливок необходимо подробное знание технологического процесса изготовления отливок.

Не менее важным является и понятийный аппарат из дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация». Эти вопросы и рассмотрены в данной главе наряду со сведениями о структуре припуска на механическую обработку отливок и методике определения припуска.

Значительное место в данной главе уделено вопросам нормирования параметров точности и описанию ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.), который можно использовать для всех способов литья практически любых сплавов.

16.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

При проектировании отливок их геометрические параметры и массы задаются размерами элементов, формой и взаимным расположением поверхностей отливок и требованиями к их плотности. При изготовлении возникают отклонения геометрических параметров и плотности реальных отливок от запроектированных значений. Эти отклонения называются «погрешностями», они могут возникать как в результате внутренних изменений в металле при хранении отливок, так и за счет износа модельной оснастки и т. п.

Степень приближения действительных параметров к идеальным (запроектированным) называется «точностью». Для деталей понятия точности и погрешности взаимосвязаны. Точность деталей характеризуется действительной погрешностью (*действительная точность*) или пределами, ограничивающими значение погрешности (*нормированная точность*). Чем уже эти пределы, тем меньше погрешности и тем выше точность.

Все вышеотмеченное применимо и для отливок. Отливка будет тем точнее, чем меньше в ней «непролитых» отверстий[1], меньше технологические напуски, литейные уклоны и припуски на механическую обработку, удаляемые при изготовлении детали.

В связи с этим под точностью отливки понимают степень приближения ее размеров, формы, расположения, показателей качества поверхности и массы к соответствующим параметрам идеальной детали.

Точность отливок по геометрическим параметрам представляет собой собирательное понятие, подразделяющееся по следующим признакам: точность размеров, точность формы элементов и их расположения, точность по шероховатости, неровностности поверхности отливок и дефектному слою. Точность отливок по массе определяется погрешностями объема (размеров) и плотности.

При конструировании отливки выбор параметров точности связан с условиями функционирования и эксплуатации изделия и условиями его изготовления. Условия эти противоречивы: для правильного функционирования изделия может требоваться сужение пределов допускаемых погрешностей, а для экономичного изготовления — их расширение. Критерием оптимального решения задачи является обеспечение работоспособности изделия при минимальной стоимости его изготовления.

Погрешности, возникающие при изготовлении партии отливок, можно разделить на три группы:

• систематические постоянные погрешности — это погрешности, которые имеют одинаковые значения для всей партии отливок, вызваны воздействием факторов, сохраняющих постоянное значение в процессе изготовления отливок, например погрешности из-за неправильного назначения линейной усадки;

• систематические переменные погрешности — это погрешности, которые закономерно изменяются по ходу технологического процесса, например погрешности, вызванные износом модельно-стержневой оснастки и являющиеся функцией времени ее работы;

• случайные погрешности или погрешности рассеивания — это группа погрешностей, которые для нескольких партий отливок могут иметь разные значения, они вызваны действием факторов, имеющих колебания случайного характера, в том числе систематическими погрешностями, если их вступление в процесс и выключение из него носят случайный характер. Например, случайная погрешность размера отливки может быть вызвана колебаниями химического состава сплава, влажности и твердости сырой песчано-глинистой литейной формы, толщины слоя краски и температуры кокиля, размера стержней, температуры заливки и вы-

[1] Отверстия, которые в данном способе литья изготовить не представляется возможным.

бивки и т. п. При использовании одного дублера модельной оснастки погрешности ее размеров носят систематический характер, при использовании нескольких дублеров — случайный.

Систематические погрешности могут быть выявлены и в ряде случаев устранены в процессе подготовки производства отливок. Выявление случайных погрешностей требует специальных измерений отливок и обработки полученных результатов на основе методов математической статистики [21, 29].

Суммарная систематическая погрешность $\sum \Delta_{\text{сист}}$ получается алгебраическим сложением всех частных систематических погрешностей $\Delta_{i\text{сист}}$:

$$\sum \Delta_{\text{сист}} = \sum \Delta_{i\,\text{сист}}.$$

Суммарная случайная погрешность $\sum \delta_{\text{сл}}$ определяется квадратическим суммированием отдельных погрешностей $\delta_{i\text{сл}}$ ($i = 1, 2, \ldots, n$):

$$\sum \delta_{\text{сл}} = \pm\sqrt{\sum \delta_{i\text{сл}}} = \pm\sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \ldots + \delta_n^2}.$$

Если при изготовлении отливок встречаются и систематические, и случайные погрешности, то суммарная погрешность определяется по уравнению

$$\Delta_{\Sigma} = \sum \Delta_{i\text{сист}} \pm \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \ldots + \delta_n^2}.$$

Случайные погрешности для партии отливок можно описать с помощью ряда характеристик, среди которых наиболее распространены среднеарифметическое значение параметра и среднеквадратическое отклонение случайного параметра от среднего значения.

Среднеарифметическое значение $\bar{X}$, например, размера X отливки, находят по уравнению

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + \ldots + X_n)/n,$$

где X_1, X_2, ..., X_n — действительные размеры отливок; n — число отливок.

Эмпирическое значение S, являющееся оценкой среднеквадратического отклонения генеральной совокупности σ значений параметра, характеризующее рассеивание или разброс отклонений от среднего значения, можно определить по выражению

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}},$$

где X_i — i-е значение параметра.

Закон распределения случайных погрешностей в виде уравнения и соответствующей кривой устанавливает зависимость между значением случайной погрешности и вероятностью ее появления. Случайные погрешности размеров и масс отливок при установившихся процессах их изготовления чаще всего подчиняются закону нормального распределения, описываемому кривой, расположен-

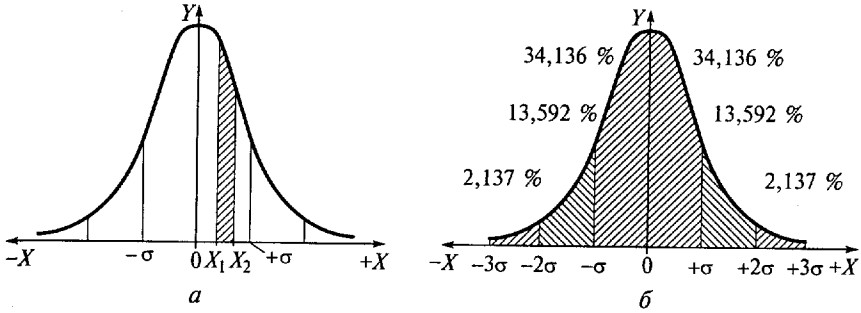


Рис. 16.1. Закон нормального распределения параметров:

σ — среднеквадратическое отклонение генеральной совокупности; X_1, X_2 — действительные размеры (масса) отливок

ной симметрично относительно среднего арифметического значения размера (массы) (рис. 16.1, *а*). Уравнение кривой нормального распределения (кривой Гаусса) имеет вид:

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{X_i^2}{2\sigma^2}},$$

где Y — плотность вероятности случайной погрешности; X_i — текущее значение величины.

Вероятность $P(X_1 \le X_i \le X_2)$ появления случайной погрешности со значениями, лежащими в пределах $X_1 - X_2$, определяется площадью, заключенной между кривой плотности вероятности, осью абсцисс и ординатами точек X_1 и X_2 (на рис. 16.1, *а* площадь заштрихована). Эту вероятность можно определить с помощью интегральной функции вероятности $\Phi(t)$. Аргументом функции $\Phi(t)$ является безразмерное отношение $t = (X_i - \bar{X})/\sigma$, следовательно, $P(X_1 \le X_i \le X_2) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1)$, где $t_1 = (X_1 - \bar{X})/\sigma$; $t_2 = (X_2 - \bar{X})/\sigma$. При этом $\Phi(-1) = -\Phi(1)$. Вся площадь под кривой плотности вероятности в диапазоне $-\infty < t < +\infty$ равна 1.

На рис. 16.1, *б* показана вероятность появления случайных погрешностей в различных диапазонах значений при законе нормального распределения. Основное количество отливок (68 %) изготовляется с размерами (или другими параметрами), лежащими в зоне $\pm\sigma$. Вероятность появления отливок с погрешностями, превышающими $\pm 3\sigma$, составляет всего 0,27 %. Этой величиной обычно пренебрегают и принимают, что практическая зона рассеивания размеров или других параметров (поле рассеивания) при изготовлении отливок составляет $\pm 3\sigma$ или 6σ.

Погрешности конусности, овальности, неконцентричности (например, для отливки гильзы цилиндров) не подчиняются закону нормального распределения. Зависимость между значением этих случайных погрешностей и вероятностью их появления описывается законом модуля разности [29] (см. далее подразд. 16.7.2).

16.2. ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ

16.2.1. Особенности формирования точности размеров

Первая особенность формирования точности размеров состоит в следующем. При проектировании и изготовлении деталей погрешности размеров задаются в соответствии с условиями эксплуатации той или иной поверхности. При механической обработке возможно выполнение различных требований к точностным параметрам для каждого размера поверхности применением разных инструментов и станков.

При изготовлении отливки формирование погрешностей для различных поверхностей взаимосвязано, поскольку используется один инструмент — литейная форма. Вследствие этого точность отливки в ТУ на чертежах указывается общей надписью, например: «Точность отливки — 8-5-4-7 См. 0,8 мм ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)», которая означает — отливка класса точности размеров 8, степень коробления 5, степень точности поверхности 4, класс точности массы 7, допуск смещения 0,8 мм.

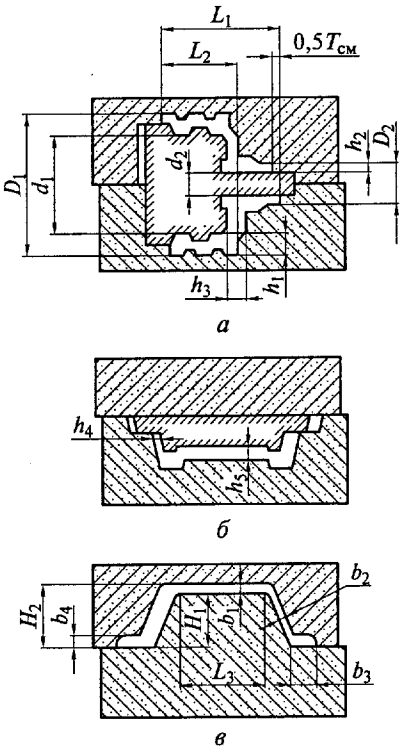


Рис. 16.2. Схемы формовки отливок:

а, *б* — отливка со стержнем; *в* — отливка с болваном: d_1, d_2, H_1, L_3 — размеры вида ВР1; D_1, D_2, L_1, L_2, H_2, b_3, b_4 — размеры вида ВР2; h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, b_1, b_2 — размеры вида ВР3

Однако необходимо учитывать, что точность разных размеров отливки, как правило, не одинаковая. У всех отливок, изготовляемых разными способами литья, имеются размеры, пересекающие плоскость разъема модели и формы и выходящие на плоскость разъема, как, например, размеры D_1, D_2, L_1, L_2, H_2, b_3, b_4 (рис. 16.2). Не составляют исключения и отливки типа тел вращения, изготовляемые центробежным способом литья. При литье по выплавляемым неразъемным моделям влияние разъема также всегда следует учитывать, поскольку модель изготовляют в разъемной форме.

Именно точность размеров, пересекающих и выходящих на

плоскость разъема и учитывающих смещение элементов отливки $T_{см}$, отражается в общей надписи на чертежах в соответствии с ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.). Этому виду размеров присвоено обозначение ВР2 (В — вид, Р — размер).

Точность размеров, образованных одной полуформой или стержнем и имеющих обозначение ВР1 (по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)), на один-два класса точнее размеров ВР2 (на рис. 16.2, *а*, *в* размерами ВР1 являются d_1, d_2, H_1, L_3).

Точность размеров ВР3, образованных тремя и более частями формы, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также точность толщин стенок (на рис. 16.2, *а*—*в* это размеры h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, b_1, b_2) на один-два класса «грубее» размеров ВР2 (т. е. точность размеров меньше).

Вторая особенность формирования точности размеров отливок заключается в том, что погрешности размеров одного и того же номинального значения зависят от наибольшего габаритного размера отливок. Объяснение этой зависимости можно дать на примере литья в сырые песчано-глинистые формы. Известно, что при этом способе литья наблюдаются две статистические зависимости: первая — с увеличением габаритных размеров отливки увеличиваются размеры опок, в том числе высота, а следовательно, и статический напор металла; вторая — с увеличением габаритных размеров (массы) отливок увеличивается средняя толщина их стенок, как уже упоминалось в соответствии с уравнением зависимости толщины стенки отливки от ее массы (см. подразд. 2.2).

Если принять две названные зависимости, то, очевидно, можно утверждать, что с увеличением габаритных размеров отливок будут возрастать также статический напор металла на стенки литейной формы, а следовательно, и перемещения стенок формы (подутие) и шероховатость поверхностей при одном и том же номинальном расстоянии между этими поверхностями, а также колебания данных величин (перемещений стенок формы и шероховатости).

Установлено также, что при использовании автоматизированных формовочных линий (АФЛ) точность отливок зависит от числа моделей на модельной плите. Экспериментальные замеры отливок, изготовленных на АФЛ моделей KW-276 и SPO, показали, что различие в полях рассеивания размеров отливок, изготовленных по одной и многим (от шести до шестнадцати) моделям, составляет от 20 до 40 %. По предложению Ю. А. Воробьева и С. П. Рябова для оценки точности отливок, изготовленных по нескольким моделям, необходимо принимать наибольший габаритный размер, равный сумме габаритных размеров всех отливок.

Третья особенность формирования точности размеров отливок заключается в чрезвычайно широких полях рассеивания размеров отливок. Самые большие отклонения наблюдаются в разме-

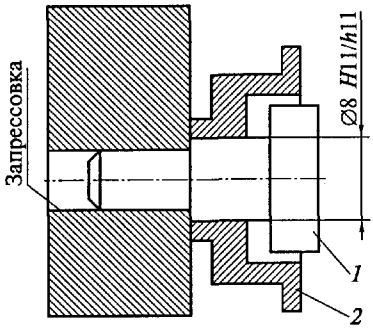


Рис. 16.3. Эскиз ролика на валу:
1 — вал; *2* — ролик

рах отливок, изготовленных в песчано-глинистых формах. Самые точные отливки изготовляются литьем под давлением. Они могут использоваться в соединениях без механической обработки.

Для сопрягаемых, но не несущих нагрузку деталей, например ролика *2* на валу *1* на рис. 16.3 [14], в месте сопряжения требуется посадка по диаметру 8 мм $H11/h11$ и Ra 2,5. При изготовлении ролика литьем под давлением из сплава ЦАМ4-1 и расположении сопрягаемой поверхности в одной части формы требования по точности размеров выполняются, при изготовлении такого же ролика из алюминиевого сплава выполнение этих требований не достигается. В этом случае для соблюдения требований по точности следует доводить форму и ужесточать технологические параметры литья (например, температуры формы перед заливкой и отливки в момент выбивки), подвергать отливки механической обработке.

Отливки, не требующие в дальнейшем механической обработки, в основном изготовляют литьем под давлением, в некоторых случаях литьем по выплавляемым моделям. К таким деталям относятся шестерни и муфты с наибольшим габаритным размером менее 100 мм, свободно сидящие на валу (Ø8 $H11/h11$ и $Ra1{,}25$), неподвижные соединения деталей электроарматуры, пишущих машин с наибольшим габаритным размером менее 350 мм. Названные детали можно изготовлять из сплавов на основе цинка, алюминия, магния.

Четвертая особенность формирования точности размеров отливок заключается в том, что в формировании точности участвуют факторы, не зависящие от номинального размера, например шероховатость поверхности. Поэтому доля влияния этих факторов в формировании точности размера будет зависеть от номинального значения размера. В связи с этим необходимо помнить, что долю влияния определенного фактора в формировании какого-либо размера нельзя переносить на другие размеры с иным значением номинального размера.

16.2.2. Анализ факторов, влияющих на точность размеров

Причины возникновения погрешностей размеров отливок многообразны. Однако процесс формирования размеров отливок является идентичным для разных способов литья, и, следователь-

но, факторы, вызывающие рассеивание размеров, также присущи всем способам литья.

Естественно, что влияние одних и тех же факторов на точность размеров отливок, изготовленных разными способами литья, будет неодинаковым — например, перемещение стенок формы при литье в песчано-глинистые формы и при литье в кокиль не будет одним и тем же. В первом случае причинами перемещений являются давление металла и термическое расширение, во втором — только термическое расширение.

Удобнее всего анализ факторов, влияющих на точность размеров, проводить по этапам изготовления отливки, т.е. на стадиях: изготовления модельно-стержневой оснастки; изготовления полуформ и стержней; сборки литейных форм и стержней; взаимодействия отливки и формы с момента заливки и до момента выбивки; выбивки отливки; финишных операций (очистки, обрубки, зачистки) и термической обработки.

Изготовление модельно-стержневой оснастки. Точность изготовления модельно-стержневой оснастки определяется в соответствии с ГОСТ 3212—92, в котором принято, что допуск на изготовление модельной оснастки должен быть не более 20 % допуска на размеры отливок.

Например, если допуск на размер отливки 100 мм равен ±1,0 мм, то допуск на изготовление соответствующего размера модельно-стержневой оснастки должен быть равен или меньше ±0,2 мм. Важное значение при проектировании оснастки имеют правильный выбор ее номинальных размеров и учет припуска на усадку и износ оснастки, которые вызывают в отливке постоянную и изменяющуюся систематические погрешности.

Принято считать, что систематическая погрешность должна быть не более 20 % допуска на размер отливки (±10 %). В связи с этим целесообразно допуск на размеры оснастки принимать несимметричным и весь допуск или большую часть его давать в плюс (например, вместо ±0,2 мм принимать +0,4 мм).

Представление об износе оформляющих отливку элементов металлической оснастки в наиболее изнашиваемых местах дают данные работы [44], приведенные в табл. 16.1.

Деревянные модели могут изменять свои размеры от влагопоглощения. Для предотвращения этого издавна применяется окраска деревянных моделей. Однако разбухание древесины, даже покрытой нитролаком, может достигать 0,1...0,2 %.

Данные по линейной усадке отливок и ее колебаниям приводятся при рассмотрении взаимодействия отливки и формы.

Следует остановиться также на таком факторе, как шероховатость рабочих поверхностей модельно-стержневой оснастки. Требования по шероховатости рабочих поверхностей оснастки связаны, главным образом, с условиями извлечения модели (стерж-

Таблица 16.1. **Износ оформляющих отливку элементов**

Способ литья	Сплавы	Материал формы или модели	Среднее число отливок	Износ на две стороны, мм
Под давлением	Алюминиевые	Сталь	30 000	0,10...0,20
	Цинковые	»	50 000	0,05...0,10
В кокиль	Алюминиевые	»	10 000	0,20...0,30
По выплавляемым моделям	Все сплавы	»	100 000	0,05
В песчано-глинистые формы (встряхивание с подпрессовкой)	То же	Алюминиевый сплав	100 000	0,10...0,30 (до 0,5 мм по плоскости разъема)
В песчано-глинистые формы (прессование, АФЛ конструкции НИИтракторсельхозмаша)	»	Латунь	100 000	4,3
		Бронза	100 000	2,8
		Сталь	100 000	0,8

ня) и отливки из формы (стержневого ящика). Шероховатость поверхностей моделей, стержневых ящиков, пресс-форм для литья по выплавляемым моделям может быть равна *Ra* 0,63...6,3.

Рабочие поверхности пресс-форм и стержней при литье под давлением требуют более чистой поверхности с *Ra* 0,32...0,08.

В процессе эксплуатации оснастки наблюдается уменьшение исходной шероховатости поверхности, ее «приработка». При этом, чем лучше была обработана поверхность, тем приработка происходит быстрее. Однако обработка поверхности до уровня шероховатости менее *Ra* 0,63 приводит к резкому удорожанию оснастки.

При литье по выплавляемым моделям большое влияние на точность отливок оказывает точность изготовления моделей. Модели изготовляют способом литья выплавляемой композиции, поэтому на их точность влияют все факторы, характерные для изготовления отливок. Более высокую точность имеют пенополистироловые выжигаемые модели, получаемые литьем под давлением (примерно 1-й класс точности по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)), меньшую точность (примерно классов 2, 3 по этому же ГОСТу) имеют выплавляемые модели, запрессовка которых осуществляется сжатым воздухом.

Меньшая точность моделей из легкоплавких материалов связана с их большим температурным коэффициентом линейного расширения и низкой температурой плавления, колебания размеров таких моделей обусловлены колебаниями температуры окружаю-

щей среды и размягчением материала (особенно летом). По данным профессора Б. Б. Гуляева, при повышении температуры окружающей среды от 14 до 24 °С размеры парафиностеариновых моделей увеличиваются на 0,2...0,4 %.

Изготовление полуформ и стержней. Наибольшие погрешности возникают при изготовлении песчано-глинистых полуформ и песчаных стержней. Погрешности размеров песчано-глинистых форм появляются как следствие «расталкивания» моделей при их протяжке, упругой отдачи формовочной смеси и опок после снятия давления прессования (подпрессовки), окраски, тепловой обработки.

Увеличение размеров полости формы при расталкивании моделей при машинной формовке составляет 0,2...0,5 мм. Упругая отдача формовочной смеси и опок становится заметной при больших давлениях прессования. При этом размеры полости формы изменяются незначительно. В основном происходит искривление лада полуформы. На рис. 16.4 [44] приведены профилограммы, полученные осреднением нескольких замеров по сечениям *1—1*, *2—2*, *3—3*, *4—4* на плоскости разъема полуформ с размерами 900×600×200 мм для шести отливок гильз *1—6* цилиндров, изготовленных на АФЛ конструкций НИИтракторсельхозмаша с давлением прессования 4 МПа. Следует отметить, что упругая отдача смеси и опок будет зависеть при этом от свойств формовочной смеси, давления прессования, жесткости опок и их размеров.

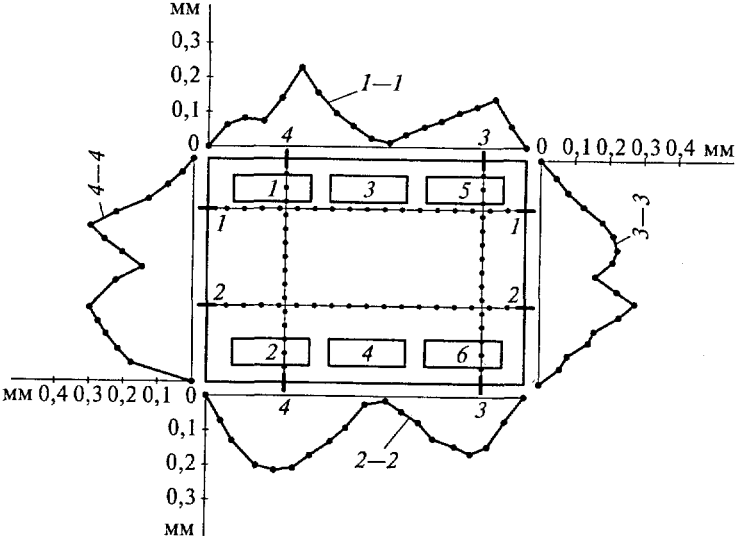
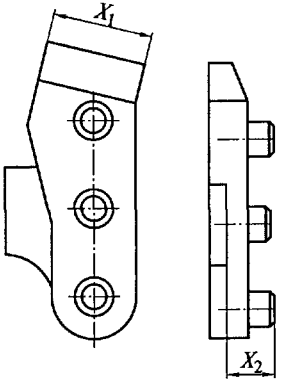


Рис. 16.4. Профилограммы (*1—1* — *4—4*) лада формы [44]:
1—6 — отливки гильз цилиндров

Изменение размеров формы при тепловой сушке зависит от свойств смеси, режима сушки и наличия крестовин в опоках. При нормальной сушке форм в опоках с крестовинами, не доходящими до модели на 25...30 мм, в камерных сушильных печах (температура сушки 400...450 °С) изменения размеров полости формы не происходит. При форсированном режиме сушки (высокая температура и быстрый подъем температуры) форм в опоках с крестовинами или при нормальной сушке форм в опоках без крестовин наблюдается искривление поверхностей в середине длины вертикальных стенок формы (высота стенок опытной формы 450 мм, длина 1400 мм, ширина 200 мм) и уменьшение размера по сравнению с моделью на 0,5...3,2 мм (меньшие значения относятся к верху и низу стенки, большие — к середине ее высоты).

Изготовление стержней производится набивкой вручную и на стержневых машинах с последующей сушкой в печах и отверждением в горячей или холодной оснастке.

На рис. 16.5 приведены среднеквадратические отклонения S_1 и S_2 размеров $\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$ стержня картера, изготовленного ручной набивкой и сушкой в печи; прочность сырого стержня 5...8 кПа, или 0,005...0,008 Н/мм^2 [34]. На рис. 16.6 даются среднеквадратические отклонения $S_а$ и $S_б$ размеров $\bar{X}_а$, $\bar{X}_б$ стержня газовых каналов блока цилиндров, изготовленного на пескодувной машине и отвержденного в горячем ящике (индекс «а») и печи (индекс «б») [34].



$X_1 = 155{,}6$ мм, $S_1 = 0{,}3$ мм; $X_2 = 62{,}5$ мм, $S_2 = 0{,}19$ мм

Рис. 16.5. Стержень картера [34]:

X_1, X_2 — действительные размеры стержня; S_1 и S_2 — среднеквадратические отклонения соответствующих размеров

Сравнивая точность размеров стержней, приведенных на рис. 16.5 и рис. 16.6, можно заключить, что наименьшую точность имеют размеры стержней ручной формовки, отвержденные в печи. Размеры стержней, изготовленных на пескодувной машине и отвержденных в печи, точнее примерно в 1,5 раза. Наконец, стержни, изготовленные на пескодувной машине и отвержденные в горячей оснастке, точнее в 1,5 раза, чем стержни, изготовленные на пескодувной машине, но отвержденные в печи.

В первом случае погрешности размеров обусловлены нестабильным уплотнением, нестабильным ручным расталкиванием стержня, ручной его протяжкой и деформацией стержня при сушке в печи; во втором случае — существенно более стабильным уплотнением и примерно таким же нестабильным руч-

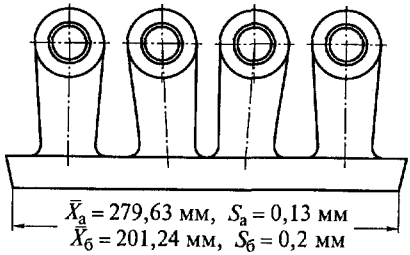


Рис. 16.6. Стержень газовых каналов блока цилиндров [34]:

$\bar{X}_а$, $\bar{X}_б$ — размеры стержня, изготовленного по вариантам «а» и «б»; $S_а$ и $S_б$ — соответствующие вариантам «а» и «б» среднеквадратические отклонения размера X

ным расталкиванием, протяжкой и меньшей деформацией при сушке; в третьем случае — практическим отсутствием факторов, вызывающих погрешности в первом и во втором случаях. Вместе с тем в третьем случае появляются новые факторы, вызывающие погрешности, — колебания температуры нагретой оснастки, ее расширение и нестабильность процесса взаимодействия стержня и нагретой оснастки.

Процесс взаимодействия стержня и нагретой оснастки может быть проиллюстрирован схемой, приведенной на рис. 16.7 [49].

Холодная смесь, уплотненная в нагретой оснастке, при нагреве должна расширяться, но, так как металлическая оснастка практически неподатлива, расширение смеси становится невозможным. Следовательно, в каждый момент времени после надува стержневая смесь нагружается и деформируется на величину ее теплового расширения. Свойства смеси в процессе нагрева изменяются: сначала в ней при нагружении преобладают вязкопластические свойства и происходят необратимые пластические перемещения (доуплотнение смеси), затем по мере отверждения смесь приобретает преимущественно упругие свойства. Именно из-за упругих свойств в момент извлечения стержня из нагретой оснастки должно происходить увеличение его размера от $l_{н.ос}$ (размера нагретой оснастки) до $l_{н.с}$ (размера горячего стержня в момент извлечения) вследствие упругой отдачи $\Delta l_у = l_{н.с} - l_{н.ос}$ (см. рис. 16.7).

После извлечения стержень охлаждается и его размеры уменьшаются. Если бы при нагреве в стержне происходили

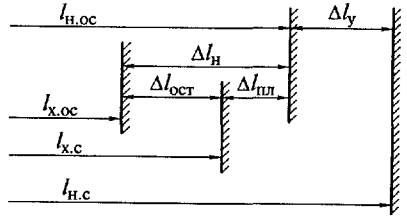


Рис. 16.7. Формирование размера стержня, изготовляемого в нагретой оснастке [49]:

$l_{н.ос}$, $l_{х.ос}$ — размер нагретой и холодной оснастки; $\Delta l_у$ — увеличение размера горячего стержня в момент извлечения; $\Delta l_н$ — увеличение размера оснастки при нагреве; $\Delta l_{пл}$ — уменьшение размера стержня из-за пластических перемещений; $\Delta l_{ост}$ — разность размеров холодных стержня и оснастки; $l_{н.с.}$ — размер нагретого стержня; $l_{х.с}$ — то же, холодного

только упругие перемещения, то после охлаждения его размер был бы равен размеру нагретой оснастки $l_{н.ос}$; при наличии же пластических перемещений сжатия $\Delta l_{пл}$ размер холодного стержня $l_{х.с}$ будет меньше размера $l_{н.ос}$. Следовательно, $l_{х.с} = l_{н.ос} - \Delta l_{пл}$ или $l_{х.с} = l_{н.с} - (\Delta l_у + \Delta l_{пл})$.

Соотношение размеров холодного стержня $l_{х.с}$ и холодной оснастки $l_{х.ос}$ будет зависеть от пластической деформации и соотношения температурных коэффициентов линейного расширения материала оснастки и стержневой смеси. Для наиболее распространенной пары чугунная оснастка — стержневая смесь на основе кварцевого песка справедливо соотношение $l_{х.с} > l_{х.ос}$. При проектировании оснастки необходимо учитывать остаточную деформацию $\Delta l_{ост} = l_{х.с} - l_{х.ос}$, причем предпочтительнее в виде относительной величины, %:

$$\varepsilon_{ост} = [(l_{х.с} - l_{х.ос}) / l_о]100,$$

где $l_о$ — размер отливки, который будет формироваться стержнем.

С. В. Книпер и А. П. Трухов показали, что величина $\varepsilon_{ост}$, названная «остаточной деформацией стержня», может отличаться от термического расширения $\varepsilon_н$ оснастки почти в два раза. Поэтому при проектировании оснастки необходимо учитывать $\varepsilon_{ост}$ и только в первом приближении можно принимать $\varepsilon_{ост} = \varepsilon_н$.

Деформация термического расширения, %, в первом приближении может быть определена по уравнению

$$\varepsilon_н = \alpha(T_{н.ос} - T_ц)100,$$

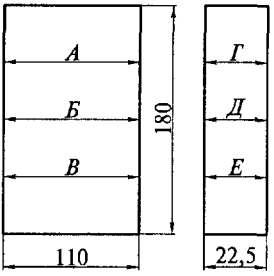
где α — температурный коэффициент линейного расширения материала оснастки; $T_{н.ос}$ — начальная температура оснастки; $T_ц$ — температура цеха.

Выше описано взаимодействие нагретой оснастки и стержня и возникновение систематической погрешности. В результате колебаний рабочей температуры оснастки и температуры стержня будут возникать и случайные погрешности.

При изготовлении стержней холодного отверждения названные погрешности не возникают, поэтому стержни, отверждаемые в холодной оснастке при продувке газообразного катализатора (амина, SO_2, метилового эфира муравьиной кислоты), имеют более высокую точность по сравнению со стержнями, изготовляемыми в нагреваемой оснастке.

Важным фактором, влияющим на погрешности размеров стержней, особенно стержней, отверждаемых в оснастке, является окраска стержней. На рис. 16.8 [26] показан стержень, который изготовляли в нагреваемой оснастке из сухой смеси и окрашивали при 120 °С графитовыми и тальковыми водными красками кистью, распылением, обливанием, погружением. После высыхания краски ос-

Рис. 16.8. Экспериментальный стержень [26] с указанием сечений *А*—*Е*, в которых проводились измерения



тывший стержень измеряли в верхнем (*А*, *Г*), среднем (*Б*, *Д*) и нижнем (*В*, *Е*) сечениях в двух плоскостях: параллельной (*Г*, *Д*, *Е*) и перпендикулярной (*А*, *Б*, *В*) плоскости разъема ящика.

Допуск $6S$ размеров *А*, *Б*, *В* неокрашенного стержня оказался равным 0,36 мм, а для окрашенного кистью, распылением, обливанием, погружением — соответственно 0,78; 1,38; 1,62; 0,6 мм. Наименее точный способ окраски — обливание и наибольшее отклонение при этом наблюдается на тех частях стержня, которые при окраске находятся внизу (размеры *В*, *Е*), что объясняется стеканием краски под действием силы тяжести. При распылении и окраске кистью толщина слоя краски может быть неравномерной, но не зависит от положения стержня при окрашивании.

Среднеарифметические значения размеров стержня после окраски увеличились с 110 до 112,5...114,5 мм (толщина слоя краски 1,26...2,5 мм) и с 22,5 до 23...25 мм (толщина слоя краски 0,25...1,25 мм). Поэтому при проектировании оснастки в определении заданного размера отливки необходимо учитывать толщину слоя краски. На литейном заводе КамАЗа при проектировании стержневых ящиков и знаков моделей толщину слоя краски принимают равной 0,5 мм.

Сборка литейных форм и стержней. В процессе сборки в форму устанавливают стержни и, если необходимо, жеребейки. Далее накрывают нижнюю полуформу верхней (при горизонтальном разъеме) или смыкают подвижную полуформу с неподвижной (при вертикальном разъеме). Для установки стержней в знаковых частях формы должны быть предусмотрены зазоры, при выборе которых необходимо учитывать точность изготовления не только моделей и стержневых ящиков, но и стержней, включая операции сушки и окраски. При этом при изготовлении стержней необходим их контроль, например шаблонами, в некоторых случаях вводится операция зачистки. При большом числе стержней применяют их предварительную сборку в кондукторах, как, например, при получении отливки блока цилиндров. Зазоры в знаках стержней зависят от номинальных размеров знака и габаритов стержня (см. подразд. 10.1).

Важнейшей погрешностью при сборке форм является неплотное прилегание собираемых полуформ. Как было отмечено ранее, причиной искривления лада полуформы могут быть упругие де-

формации формовочной смеси и опоки. К другим причинам неплотного прилегания можно отнести коробление и износ опок, износ модельных плит под опокой, недостаточную прочность крепления оснастки к оборудованию, неправильную установку модельного комплекта на протяжной раме формовочной машины и т. п.

В результате неплотного прилегания полуформ может возникать не только случайная, но и систематическая погрешность. Так, на ЗИЛе размеры моделей, перпендикулярные плоскости разъема, уменьшают в связи с этим на 1,5...2,0 мм [44].

Влияние неплотного прилегания полуформ на размеры отливок наблюдается при всех способах литья, в том числе и при литье по выплавляемым моделям, а также при изготовлении стержней. Естественно, влияние неплотного прилегания по разъему возрастает, если формовка производится в нескольких (более чем в двух) опоках.

Смещение стержней и полуформ рассмотрено в подразд. 16.3, посвященном погрешностям формы и расположения поверхностей.

Взаимодействие отливки и формы. Залитый в форму металл в состоянии разных степеней затвердевания от жидкого до твердого находится с формой в физико-химическом, теплофизическом и механическом взаимодействии. В результате этого взаимодействия формируются качество поверхностного слоя и размеры отливки.

При установлении точности отливки качество ее поверхности оценивается шероховатостью и неровностностью, которые будут рассмотрены ниже.

Изменение размеров отливки зависит от давления металла (статического и динамического) и механического взаимодействия отливки и формы, которые являются следствием их теплового взаимодействия. Следовательно, факторами, влияющими на точность отливок, являются теплофизические характеристики, определяющие интенсивность и длительность процесса взаимодействия отливки с формой, и показатели физико-механических свойств сплава и формы (далее в обозначениях характеристик индексы «М» — металл, «Ф» — форма, τ — время): $c_м$, $c_ф$ — теплоемкость металла и формы; $\rho_м$, $\rho_ф$ — плотность, $\lambda_м$, $\lambda_ф$ — коэффициенты теплопроводности и их производные: коэффициенты температуропроводности $a_м$ и $a_ф$ ($a = \lambda/c\rho$); коэффициенты теплоаккумуляции $b_м$ и $b_ф$ ($b = \sqrt{\lambda c\rho}$); $\alpha_м(\tau)$, $\alpha_ф(\tau)$ — температурные коэффициенты линейного сжатия (расширения) металла и формы; $T_{зал}$, $T_л$, $T_ф$ — температуры соответственно заливки, ликвидуса сплава и формы перед заливкой; $E_м(\tau)$, $E_ф(\tau)$ — модули упругости металла и материала формы; $E_{п.м}(\tau)$, $E_{п.ф}(\tau)$ — модули пластичности соответственно для упругопластического взаимодействия металла и формы.

Модули упругости $E_м(\tau)$, $E_ф(\tau)$ и модули пластичности $E_{п.м}(\tau)$, $E_{п.ф}(\tau)$ вместе с конструкцией (геометрическими характеристиками) отливки и формы обусловливают жесткость их взаимодействия, в том числе податливость формы. (Напоминаем, что жесткость элемента конструкции при растяжении характеризуется произведением $E \cdot F$, где F — площадь сечения элемента. Жесткость элемента при изгибе характеризуется произведением модуля упругости E на момент инерции сечения J, т.е. EJ.)

Конструкция отливки влияет также на статическое давление металла (напор) и вместе с теплофизическими свойствами — на длительность процессов отвода теплоты перегрева, затвердевания и охлаждения, т.е. на длительность охлаждения до температуры выбивки.

При этом следует иметь в виду, что практически все характеристики отливки и формы являются функциями температуры, а металл во времени претерпевает фазовые превращения.

В результате протекания сложных процессов взаимодействия отливки и формы происходит формирование размеров отливки, которые отличаются от размеров модели (формы). Предсказать (рассчитать) действительные размеры чрезвычайно сложно, поэтому на практике в крупносерийном и массовом производствах поступают следующим образом.

При проектировании принимают размеры модельной оснастки (формы) исходя из опыта, далее изготовляют опытную партию отливок, которые обмеряют. На основании выполненных обмеров корректируют размеры модельной оснастки (формы).

По сути в названных выше действиях полученный итог (являющийся результатом сложного взаимодействия) определяется как разность двух измерений: модели (формы) и отливки. Именно на основании этих двух измерений и находят действительную линейную усадку отливки.

Все это относится к анализу их формирования и принятию решения по устранению систематических погрешностей. Естественно, что из-за отклонений физико-механических и теплофизических характеристик материалов от заданных значений вследствие тех или иных причин возникают и случайные погрешности. Появление случайных погрешностей размеров данной отливки связано с непосредственным влиянием таких характеристик заливаемого металла, как $\alpha_м(\tau)$, $T_{зал}$, $T_л$, $E_м(\tau)$, $E_{п.т}(\tau)$, а также его теплофизических свойств. Колебания значений данных характеристик связаны с колебанием химического состава сплава (в пределах заданных допусков по отдельным элементам). Теплофизические свойства заливаемого сплава также будут изменяться, приводя к соответствующим изменениям размеров.

В качестве примера можно рассмотреть влияние колебаний температуры ликвидуса сплава. Статистическая обработка результа-

тов определения химического состава серых чугунов на ЗИЛе, ГАЗе, заводе «Центролит» (г. Саранск) показала, что колебания углеродного эквивалента чугуна достигают 0,55...0,65 %. Как известно, при изменении содержания углерода или углеродного эквивалента на 1 % значение $T_л$ изменяется на величину до 100 К (100 °С). Следовательно, значительные колебания значений $T_л$ в свою очередь, вызывают существенные колебания других параметров.

По сравнению с песчано-глинистой формой для металлической формы (например, при литье под давлением) можно принять, что ее физико-механические и теплофизические характеристики неизменяемы, т.е. считать металлическую форму неподатливой. При таком условии на погрешность размеров отливки, получаемой в металлической форме, будут оказывать влияние только колебания температуры формы перед заливкой, а также колебания температуры заливаемого металла. В этом смысле она (металлическая форма) обеспечивает наибольшую стабильность размеров отливки. В кокилях значительную нестабильность, как уже отмечалось ранее, вносят колебания толщины слоя краски.

По сравнению с металлической песчано-глинистая форма менее стабильна. На колебания теплофизических и физико-механических характеристик песчано-глинистых смесей сильное влияние оказывают колебания состава формовочной смеси, ее влажности, уплотненности (колебания уплотненности зависят как от состава смеси, так и от работы оборудования).

Следует обратить особое внимание, как влияет состав формовочной смеси на температурный коэффициент ее линейного расширения. В частности, при замене природного кристаллического кварцевого песка ($\alpha_ф = 13{,}5 \cdot 10^{-6}$ 1/К) плавленым кварцем ($\alpha_ф = 0{,}5 \cdot 10^{-6}$ 1/К) при литье по выплавляемым моделям точность отливок, по данным Л.Я. Шкленник, повышается на два-три класса по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.).

Нестабильность песчано-глинистой формы проявляется и в том, что колебания размеров отливок увеличиваются при возрастании давления металла (напора или высоты верхней полуформы). При этом увеличиваются не только номинальные размеры отливки из-за подутия, но и колебания подутия и размера. Это находит подтверждение при исследовании точности коленчатых валов, изготовляемых в тонкостенных формах. По данным А.М. Бродского между систематическими и случайными погрешностями размеров этой отливки установлена стохастическая (случайная, вероятностная) связь: большим значениям систематических отклонений соответствуют большие значения колебаний размеров.

Сравнение точности отливок из алюминиевых сплавов и чугуна, изготовленных в сырых песчано-глинистых формах, показывает, что точность отливок из алюминиевых сплавов в 1,25—

1,3 раза выше, чем отливок из серого чугуна. Различие в точности связано, главным образом, с такими факторами, как: 1) давление жидкого алюминиевого сплава (следовательно, и напор, связанный в том числе с плотностью материала) примерно в 3 раза меньше, чем в случае чугуна; 2) температура заливки алюминиевого сплава (около 700 °С) примерно в 2 раза ниже температуры заливки чугуна (1350...1400 °С). Кроме того, не следует забывать, что измеренные размеры отливок всегда включают шероховатость поверхности, а шероховатость чугунных отливок и ее колебания, как правило, выше, чем отливок из алюминиевых сплавов.

Выбивка отливок из формы. Колебания температуры выбивки наиболее сильно влияют на погрешности размеров отливок при литье в металлические формы. Как уже отмечалось, металлическая форма неподатлива, т.е. размеры отливки, пока она находится в форме, будут равны размерам формы. При выбивке отливки за счет упругих сил отдачи ее размеры уменьшаются.

С колебаниями температуры выбивки из-за упругой (обратимой) деформации могут быть связаны до 85 % колебаний размера кокильной отливки. В этой связи еще раз отметим, что процентная доля влияния любого фактора на колебания размера отливки зависит от номинального значения размера.

При литье в неметаллические формы названное явление также может наблюдаться, хотя и в меньшей степени. Но колебания температуры выбивки будут приводить к изменению напряженного состояния сплава не только из-за изменения условий охлаждения (в форме или на воздухе), но и из-за того, что при выбивке отливки условия освобождения от формовочной и особенно стержневой смеси неодинаковы.

В крупных чугунных отливках по этой причине при ранней выбивке могут возникать холодные трещины. Поэтому температура выбивки, например, отливок станин составляет обычно 200...300 °С, несмотря на значительное увеличение времени охлаждения в форме.

Финишные операции и термическая обработка отливок. Шероховатость поверхности отливок зависит не только от технологии литья, но и от качества очистки поверхности. Колебания шероховатости поверхности оказывают определенное влияние на колебания размеров (см. далее подразд. 16.4.1). На точность размеров отливок оказывает также влияние наждачная обработка (зачистка), но так как обычно таким способом удаляются только заливы и остатки питателей, его влияние проявляется лишь на ограниченных участках.

При термической обработке отливок происходят изменения размеров вследствие структурных превращений в сплаве, изменений его напряженного состояния при снятии остаточных напряжений и пластических деформаций из-за плохой укладки отливок.

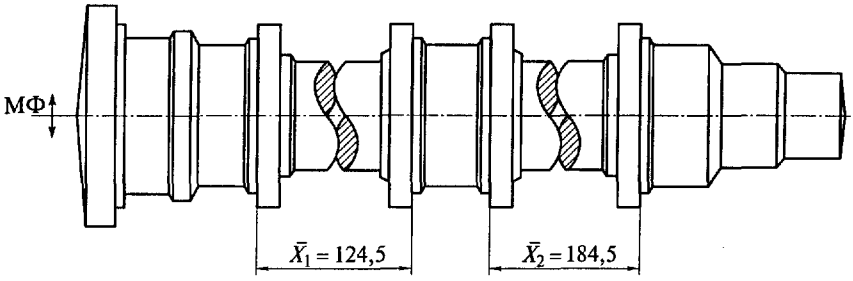


Рис. 16.9. Эскиз коленчатого вала [34]:
МФ — разъем модели и формы; $\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$ — средние размеры отливки

При отжиге белого чугуна на ковкий размеры увеличиваются на 1...2 % в связи с выделением графита в свободном состоянии. Аналогичная картина наблюдается при отжиге затвердевающего «по-белому» высокопрочного чугуна, модифицированного магнием. Естественно, что при термической обработке появляются не только систематическая погрешность, но и колебания размеров.

В качестве примера рассмотрим погрешности размеров после отжига отливки коленчатого вала из высокопрочного чугуна, изготовляемого на ГАЗе (рис. 16.9) [34]. Коленчатый вал отливали в оболочковую форму с засыпкой чугунной дробью в контейнере. Литые валы подвергали высокотемпературному отжигу, затем правке и обрезке в штампах после вторичного нагрева до температуры 650 °С. При этом случайные погрешности размеров X_1 и X_2 составили значительную величину ($6S$ = 3 мм), систематическая погрешность достигла 1 мм.

Низкая точность явилась следствием искажения размеров оболочковой формы из-за неравномерного ее нагрева (особенно по толщине), из-за действия давления залитого металла, а также искривления валов при высокотемпературном отжиге вследствие графитизации и пластической деформации, вызванной неверной укладкой отливок в печи.

16.3. ТОЧНОСТЬ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Отклонением формы называется отклонение формы реальной поверхности от формы номинальной поверхности. Под номинальной поверхностью понимается идеальная поверхность, форма которой задана чертежом или другой технической документацией. Отклонения формы могут также рассматриваться применительно к профилю (линии пересечения с плоскостью или поверхностью) [19]. Отклонения формы оцениваются на нормируемом участке.

Поле допуска формы — это область в пространстве или на плоскости, внутри которой должны находиться все точки реальной поверхности или реального профиля в пределах нормируемого участка.

«Отклонением расположения» называется отклонение реального (действительного) расположения рассматриваемого элемента (поверхности, оси или плоскости симметрии) от номинального положения. Под номинальным понимается расположение, определяемое номинальными линейными и угловыми (координирующими) размерами между рассматриваемыми элементом и базами.

К отклонениям формы поверхностей относят отклонение от прямолинейности с допуском прямолинейности, отклонения от плоскостности с допуском плоскостности, отклонения от заданного криволинейного профиля с допуском, отклонения от заданной криволинейной поверхности с допуском, а также отклонения и допуски цилиндричности и круглости.

К отклонениям расположения элементов относятся отклонения параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, позиционное отклонение и отклонение от пересечения осей. Наиболее характерным отклонением расположения в отливках является смещение по плоскости разъема.

Допуск смещения $T_{см}$ по плоскости разъема отливки равен разности между предельными отклонениями положений частей от-

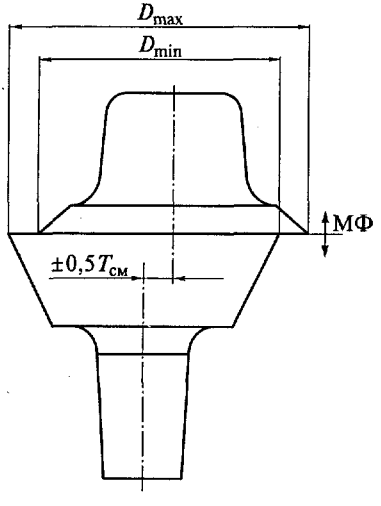


Рис. 16.10. Смещение $T_{см}$ по плоскости разъема отливки:

МФ — разъем модели и формы; D_{max}, D_{min} — максимальный и минимальный диаметр из-за смещения по плоскости разъема

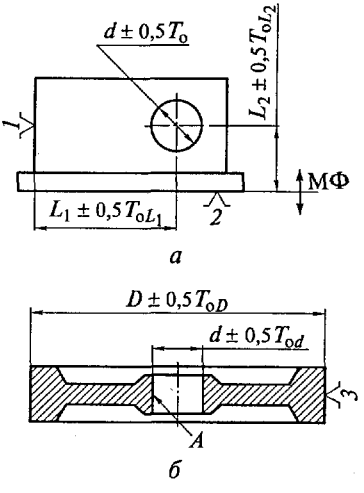


Рис. 16.11. Позиционный допуск:

а — оси диаметра отверстия относительно баз механической обработки; *б* — оси диаметра отверстия *d* относительно базового диаметра *D*; $\pm 0{,}5T_o$ — предельные отклонения размера; *1*, *2*, *3* — базы; *А* — внутренняя поверхность

ливки, формируемых в разных полуформах, от номинального положения: $T_{см} = D_{max} - D_{min}$ (рис. 16.10). Примерами позиционного допуска могут служить допуск расположения оси отверстия диаметром d относительно баз *1*, *2* механической обработки (рис. 16.11, *а*), а также позиционный допуск при обработке внутренней поверхности A (рис. 16.11, *б*).

В первом случае позиционный допуск $T_{поз}$ определяется как вероятностная сумма допусков на расстояния L_1 и L_2 от баз *1*, *2* до оси обрабатываемого отверстия: $T_{поз} = \sqrt{T_{oL_1}^2 + T_{oL_2}^2}$.

Во втором случае позиционный допуск определяется половиной допуска T_{oD} на внешний диаметр отливки. При обработке поверхности A внутреннего диаметра относительно внешней базовой поверхности *3* позиционный допуск будет равен половине допуска на внутренний диаметр, т.е. $T_{поз} = 0,5T_{od}$.

Основной причиной возникновения погрешностей формы является коробление отливок в процессе охлаждения в литейной форме и после выбивки, а также в процессе термической обработки отливок (снятие остаточных напряжений и пластическая деформация под действием собственного веса и веса других деталей).

Коробление отливок в литейной форме и после выбивки происходит из-за неоднородности температур по несимметричному сечению или из-за разностенности, вследствие которых в отливке возникают неоднородные напряжения и неоднородные пластические деформации. При этом коробление, например, бруса постоянного сечения при данном распределении (разности) температур будет обратно пропорционально высоте сечения и прямо пропорционально длине сечения, а форма сечения (ее момент инерции и момент сопротивления) на искривление не влияет [27].

В некоторых случаях во избежание искривления отливок модель изготовляют искривленной в противоположном направлении, т.е. с обратным прогибом. В практических рекомендациях по назначению обратного прогиба моделей также исходят из прямой пропорциональности прогиба длине нормируемого участка. Значения прогиба указывают в миллиметрах на 1 м длины отливки. Следует заметить, что обратный прогиб моделей предусматривается для уменьшения припуска на обработку не только с целью экономии металла, но, главным образом, для того, чтобы не был удален плотный поверхностный слой металла, от которого зависит долговечность детали, например направляющих станин.

При данных характеристиках сечения и длине нормируемого участка коробление будет зависеть от тех же факторов, которые влияют на точность размеров и которые были рассмотрены в подразд. 16.2.2. Не повторяя анализа влияния этих факторов на погрешности формы, отметим лишь, что в данном случае влияние

всех этих факторов необходимо рассматривать по степени их воздействия на погрешности формы.

Другой причиной погрешностей формы в отливках является искривление отливок в процессе термической обработки вследствие снятия неоднородных по сечению отливки остаточных напряжений, неоднородного протекания фазовых превращений при термической обработке (например, при графитизирующем отжиге отливок из ковкого и высокопрочного чугуна) и пластических деформаций изгиба под действием собственного веса и из-за неправильной укладки отливок в печи. Возможны также искривления из-за неоднородного распределения температур и протекания вследствие этого пластических деформаций при закалке и других режимах термической обработки.

В некоторых случаях после охлаждения в литейной форме или после термической обработки отливки выправляют в печи, используют местный нагрев или в прессах, как, например, некоторые отливки из ковкого чугуна (ступица заднего колеса грузового автомобиля ЗИЛ) и высокопрочного чугуна (коленчатый вал автомобиля ГАЗ, см. рис. 16.9).

В ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) допуски формы и расположения определяются на нормируемом участке по заданной степени коробления (всего их одиннадцать) (см. далее подразд. 16.8.3).

По степеням коробления определяются допуски формы, допуски предельного профиля цилиндрической поверхности (изогнутости), а также суммарные допуски формы и расположения, которые являются результатом одновременного появления отклонений формы и расположения рассматриваемого элемента (профиля или поверхности) относительно заданной базы.

При этом допуски даются в диаметральном выражении, так как отклонения возможны в обе стороны.

Допуски расположения, как правило, связаны с допусками на соответствующие размеры. Например, допуск смещения по плоскости разъема не должен превышать 50 % допуска на толщину стенки, пересекающей разъем.

Следует более подробно остановиться на анализе факторов, влияющих на смещение отливки по плоскости разъема. Смещение по плоскости разъема возникает во всех отливках, изготовляемых разными способами литья. Наибольшие величины смещения наблюдаются при изготовлении песчано-глинистых форм по модельным плитам верха и низа. Погрешность в этом случае возникает в результате четырех операций: 1) при монтаже половин моделей на модельных плитах; 2) при изготовлении верхней полуформы (зазор в соединении штырь—втулка); 3) при изготовлении нижней полуформы (тот же зазор); 4) при спаривании полуформ (двойной зазор в соединениях штырь—втулка) (см. подразд. 16.7.2).

16.4. ШЕРОХОВАТОСТЬ И НЕРОВНОСТНОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТЛИВОК

16.4.1. Шероховатость поверхностей отливок

Характеристики шероховатости *Ra*, *Rz* со значениями от 1 до 1000 мкм и методика их контроля на базовой длине приводятся в ГОСТ 2789—73*.

Шероховатость поверхности отливок существенно отличается от шероховатости механически обработанной поверхности, которая имеет сравнительно упорядоченное строение в виде чередующихся выступов и впадин — следов режущего инструмента. Шероховатость литой поверхности является неупорядоченной с хаотическим расположением выступов и впадин, их различной формой и взаимным расположением.

Шероховатость поверхности отливок зависит от большого числа факторов: состава сплава; температуры заливки; продолжительности затвердевания отливки (толщины стенки, массы отливки); качества разделительных и огнеупорных покрытий; величины зерна и степени однородности формовочной смеси (для литья в неметаллические формы); давления (напора) металла, газового режима; химического сродства оксидов заливаемого сплава и оксидов, входящих в состав формовочной смеси; теплофизических свойств смеси. Кроме того, шероховатость поверхности отливок зависит от качества их очистки.

Для контроля шероховатости поверхности отливок в настоящее время применяются эталоны шероховатости в соответствии с ГОСТ 2789—73* и ГОСТ 25142—82.

Шероховатость поверхности отливок увеличивает номинальный размер и массу отливок и их погрешности. При этом в расчетных величинах размера и массы отливки шероховатость, как правило, не учитывается. Вместе с тем при литье в песчано-глинистые формы шероховатость может играть существенную роль в формировании размера и массы отливок.

Для оценки этой роли были проведены измерения размера, образованного одной полуформой размера и равного 78 мм, а также шероховатости поверхности в местах, выходящих на этот размер, на профилометре «Perth-o-Meter» с автоматической записью профилограмм.

Полученные в результате обработки измерений кривые распределения размера 78 мм и величины *Rz* соответствуют нормальному закону. Среднее значение размера равно 78,1 мм, среднее значение $Rz = 0{,}132$ мм, а поля рассеивания соответственно равны $6S_{78} = 2{,}4$ мм и $6S_{Rz} = 0{,}12$ мм.

Для определения доли влияния колебаний шероховатости, %, на колебания размеров отливки использовали выражение

$$\Delta Rz = \left[2(6S_{Rz})^2 / (6S_{78})^2\right]100.$$

Оказалось, что величина ΔRz = 0,5 %, т.е. доля влияния этого фактора в суммарном влиянии всех факторов несущественна. В то же время найденное значение $2Rz$ составляет 0,34 % номинального размера (78,1 мм) при линейной усадке, равной 0,5 %. Эта характеристика существенно влияет на систематическую погрешность, которая автоматически учитывается в действительной усадке размера отливки, при этом с увеличением номинального размера влияние шероховатости на линейную усадку и на сам размер будет уменьшаться.

16.4.2. Неровностность поверхностей отливок

Совокупность повторяющихся, или локальных, неровностей средней величины (мезонеровностей, т.е. неровностей поверхности, отдельные значения шага которых превышают базовую длину, на которой измеряется шероховатость данной поверхности) представляют собой неровностность литой поверхности.

Неровностность поверхности отливок возникает вследствие неравномерности толщины слоя краски, неравномерного износа модельно-стержневой оснастки, неравномерного подутия, возникающего как вследствие неоднородного уплотнения формовочной смеси, так и из-за неодинаковых условий силового и теплового нагружения различных участков формы.

По величине неровностность занимает промежуточное положение между шероховатостью и отклонениями формы поверхности. Базовой линией для определения значений параметров неровностности служит средняя линия профиля поверхности, при этом базовая длина для измерения неровностности поверхности принимается равной 4—10 базовым длинам для измерения ее шероховатости, но не более 100 мм. Допуск неровностности поверхности ограничивает наибольшую величину неровности, т.е. сумму наибольших высот выступов и впадин поверхности.

Для обрабатываемых поверхностей отливок неровностность должна учитываться в припуске на механическую обработку, для необрабатываемых поверхностей она характеризует потребительские свойства готовых деталей. В последнем случае для улучшения потребительских свойств изделий иногда приходится зачищать поверхность отливки абразивным инструментом или увеличивать расход краски (грунтовки) для выравнивания поверхности.

Допуск неровностности обозначается сочетанием трех латинских букв — *JRS* и цифровым значением его величины, которые проставляют после запятой за знаком шероховатости (например, *Ra* 20, *JRS* 0,8).

16.5. ТОЧНОСТЬ МАССЫ ОТЛИВОК

Масса является обобщенной характеристикой технологического процесса изготовления отливок, а ее отклонения являются интегральным показателем погрешностей размеров (объема) и плотности.

Допуск массы T_m для партии отливок характеризуется относительной величиной, %:

$$T_m = (6S_m/\bar{m})100,$$

где S_m — среднеквадратическое отклонение массы, кг; $\bar{m}$ — среднеарифметическое значение массы.

Среднеквадратическое отклонение массы S_m является среднеквадратическим отклонением функции двух случайных величин — объема V и плотности ρ. Как известно [21], в этом случае

$$S_m = m\sqrt{\frac{S_V^2}{\bar{V}^2} + \frac{S_\rho^2}{\bar{\rho}^2} + \frac{1}{\bar{V}\bar{\rho}}},$$

где $\bar{V}$, $\bar{\rho}$ — математические ожидания (среднеарифметические значения) объема и плотности; S_V, S_ρ — среднеквадратические отклонения соответственно объема и плотности.

Из полученного выражения видно, что погрешности массы зависят от погрешностей объема и плотности и их среднеарифметических значений. Погрешности объема определяются погрешностями размеров, формы, расположения, шероховатости и неровностности поверхностей. Анализ влияния различных факторов на геометрические погрешности рассмотрен ранее. Погрешности плотности определяются типом сплава (главным образом интервалом его кристаллизации), колебаниями химического состава, газонасыщенностью, характером кристаллизации (последовательная, объемная), условиями и качеством питания (размерами, количеством, конструкцией прибылей и давлением металла) и т. п. При этом плотность и погрешность плотности зависят от требований к отливке, в том числе от требований к герметичности.

Основное влияние на колебания плотности оказывают колебания химического состава, а также газовая и усадочная пористость. При пластической деформации, например чугуна, плотность увеличивается на 3...4 %.

Величина разброса плотности металла по данным М. Г. Штанко при литье в песчано-глинистые формы для машинной формовки по металлическим моделям достигает: для отливок из серого чугуна 1,35...6,50 %, для отливок из ковкого чугуна 2,23...6,31 % и для стальных отливок 2,27...6,97 %. Для стальных отливок, изготовляемых по выплавляемым моделям, колебания плотности составляют 1,24...2,25 %.

16.6. ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Толщина слоя металла, удаляемого с поверхности отливки при ее обработке в целях обеспечения заданных размеров, формы, расположения, неровностности и шероховатости поверхности детали, называется «припуском на механическую обработку». Величина припуска зависит не только от точности отливки, но и от требований к точности детали, а также от технического уровня (точности) систем механической обработки.

Таким образом, выбор экономически целесообразной величины припуска на обработку — это результат совместной работы технолога-литейщика и технолога по механической обработке на стадии проектирования технологического процесса изготовления отливок.

Общий припуск на обработку $Z_{общ}$ (рис. 16.12) соответствует расстоянию между серединами полей допусков детали и отливки и является суммарным на все переходы механической обработки:

$$Z_{общ} = \sum_{i=1}^{n} Z_i,$$

где Z_i — припуск на выполнение i-го перехода; n — общее число переходов.

Припуск на механическую обработку на выполнение i-го перехода определяется двумя составляющими: параметром качества поверхностного слоя $П1_{(i-1)}$ на $(i-1)$-м переходе и параметром геометрической точности $П2_i$ детали после каждого i-го перехода механической обработки:

$$Z_i = П1_{(i-1)} + П2_i.$$

На первом переходе параметр $П1_{(i-1)}$ равен исходному литейному припуску, который формируется на отливке (на нулевом

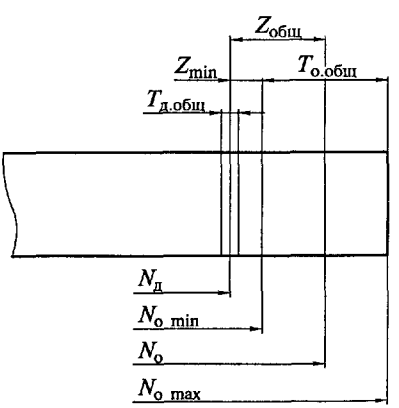


Рис. 16.12. Структура припуска на механическую обработку:

Z_{min}, $Z_{общ}$ — соответственно минимальный и общий припуски на обработку; $N_{о\ min}$, $N_{о\ max}$ — минимальные и максимальные размеры отливки; $N_д$, $N_о$ — соответственно размер детали и отливки; $T_{д.общ}$ — общий допуск на размер детали; $T_{о.общ}$ — то же, отливки

переходе обработки). На всех последующих переходах припуск формируется в соответствии с технологией механической обработки.

16.6.1. Исходный литейный припуск

Исходный литейный припуск необходим для обеспечения заданных требований к качеству (шероховатости, бездефектности) поверхности детали и зависит от толщины поверхностного слоя, шероховатости и неровностности поверхности отливки.

Таблица 16.2. **Минимальный литейный припуск на сторону**

Ряд припуска (РП) отливки	Минимальный литейный припуск на сторону, мм, не более	Ряд припуска (РП) отливки	Минимальный литейный припуск на сторону, мм, не более
1	0,1	10	1,6
2	0,2	11	2,0
3	0,3	12	2,5
4	0,4	13	3,0
5	0,5	14	4,0
6	0,6	15	5,0
7	0,8	16	6,0
8	1,0	17	8,0
9	1,2	18	10,0

Таблица 16.3. **Назначение рядов припусков на обработку отливок**

Интервал степеней точности поверхности	Интервал рядов припусков	Интервал степеней точности поверхности	Интервал рядов припусков
1—2	1—2	16	7—10
3—4	1—3	17	8—11
5—6	1—4	18	9—12
7—8	2—5	19	10—13
9—10	3—6	20	11—17
11—12	4—7	21	12—15
13—14	5—8	22	13—16
15	6—9		

Примечания: 1. Меньшие значения рядов припусков из диапазонов их значений следует принимать для термообрабатываемых отливок из цветных легкоплавких сплавов, большие значения — для отливок из ковкого чугуна, средние — для отливок из серого и высокопрочного чугуна, термообрабатываемых отливок из стальных и цветных тугоплавких сплавов.

2. Для верхних при заливке поверхностей отливки единичного и мелкосерийного производства, изготовляемых в разовых формах, допускается принимать увеличенные на 1—3 ед. значения ряда припуска.

Исходный литейный припуск равен сумме высот шероховатости, неровностности и толщины поверхностного (дефектного) слоя.

Поверхностный слой в деталях и отливках отличается от основной массы металла видоизмененными характеристиками: структурой, химическим составом, свойствами, в том числе механическими (в частности, твердостью и прочностью). Поверхностный слой на отливках часто называется «литейной коркой». При этом литейная корка может обладать свойствами как улучшающими, так и ухудшающими качество отливок.

При изготовлении отливок из серого чугуна в песчано-глинистых формах литейная корка достигает десятых долей миллиметра. Эксперименты, проведенные Б. В. Бабушкиным по высверливанию сердцевины образцов диаметром 30 мм и испытанию пустотелой оболочки, показали, что прочность последней выше прочности всего образца на величину до 10 %.

При отжиге белого чугуна на ковкий ферритный чугун образуются обезуглероженный слой и так называемая «перлитная кайма». По данным Е. А. Васильева толщина обезуглероженного слоя составляет при этом 0,2...0,3 мм, а толщина перлитной каймы — 0,8...1,0 мм.

Следует заметить, что при механической обработке чугунных отливок стремятся к тому, чтобы резец проходил под литейной коркой и перлитной каймой, поскольку в противном случае до 30 % снижаются скорости резания и одновременно увеличивается износ инструмента. В условиях массового производства отливки с перлитной каймой вызывают поломки режущего инструмента на автомати-

Таблица 16.4. **Шероховатость поверхностей отливок**

Степень точности поверхности отливок	Шероховатость поверхности		Степень точности поверхности отливки	Шероховатость поверхности	
	Среднеарифметическое отклонение профиля *Ra*	Высота неровностей профиля *Rz*		Среднеарифметическое отклонение профиля *Ra*	Высота неровностей профиля *Rz*
	мкм, не более			мкм, не более	
1	2,0	—	12	25,0	—
2	2,5	—	13	32,0	—
3	3,2	—	14	40,0	—
4	4,0	—	15	50,0	—
5	5,0	—	16	63,0	—
6	6,3	—	17	80,0	—
7	8,0	—	18	100,0	—
8	10,0	—	19	—	500
9	12,5	—	20	—	630
10	16,0	—	21	—	800
11	20,0	—	22	—	1000

ческих линиях. Проблема решается применением абразивного инструмента, при этом можно уменьшить припуск на обработку.

При литье по выплавляемым моделям на поверхности стальных отливок также появляется обезуглероженный слой толщиной до 0,5 мм, который не принимает закалки, и в этом случае необходимо разрабатывать специальную технологию или удалять этот слой механической обработкой.

При литье под давлением поверхностная литейная корка, по данным [48] составляющая 0,8...1,0 мм, обладает повышенной плотностью, и ее удаление приводит к появлению течи в отливках (например, в корпусах граненых кофеварок). При необходимости обработки припуск не должен превышать 0,2...0,8 мм.

Следовательно, при назначении припуска необходимо учитывать величину поверхностного слоя отливки. В ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) исходный литейный припуск изменяется от 0,1 до 10 мм и разбит на 18 рядов припусков (РП) с постоянным множителем 1,25 (табл. 16.2). Ряд припуска определяется по 22 значениям степени точности поверхности (табл. 16.3). При ненормируемых показателях степени точности поверхностей отливок при назначении рядов припусков исходят из величины шероховатости поверхностей отливки (табл. 16.4).

16.6.2. Параметр геометрической точности

Параметр геометрической точности детали $П2_i$ зависит от допусков на размеры детали ($T_{дi}$) и отливки ($T_о$), а также допусков формы ($T_{д.фi}$, $T_ф$) и расположения (позиционных допусков $T_{д.пi}$, $T_{о.п}$ и допусков смещения детали $T_{д.смi}$ и отливки $T_{о.см}$) обрабатываемого элемента относительно базы механической обработки. Все допуски, относящиеся к поверхности отливки и детали, можно объединить и назвать «общим допуском».

Общий допуск элемента отливки на первом переходе $T_{о.общ}$ — это комплексный допуск, включающий в себя допуск размера от обрабатываемой поверхности до базы и независимо полученные допуски формы и расположения нормируемого участка поверхности. Величина $T_{о.общ}$ определяется по следующей формуле:

$$T_{о.общ} = \sqrt{T_о^2 + T_{ф.общ}^2} = \sqrt{T_о^2 + T_{о.ф}^2 + T_{о.п}^2 + T_{о.см}^2},$$

где $T_о$, $T_{о.ф}$, $T_{о.п}$, $T_{о.см}$ — соответственно допуски размера, формы, позиционного расположения обрабатываемой поверхности относительно базы и смещения элементов отливки; $T_{ф.общ}$ — общий допуск формы и расположения отливки.

Аналогично определяется общий допуск детали на i-м переходе, включая первый:

$$T_{д.общ} = \sqrt{T_{дi}^2 + T_{д.ф.общ\,i}^2} = \sqrt{T_{дi}^2 + T_{д.фi}^2 + T_{д.пi}^2 + T_{д.см\,i}^2}.$$

Параметр геометрической точности вычисляется по выражению

$$П2_i = 0,5\sqrt{T_{дi}^2 + T_{д(i-1)}^2}.$$

На первом переходе $T_{д.общ\,(i-1)} = T_{д.общ} = T_{о.общ}$, т.е. общий допуск детали на первом переходе равен общему допуску отливки.

С целью упрощения рекомендуется для нахождения общего допуска использовать данные табл. 16 из ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.), по которой одновременно можно найти общий допуск для двух составляющих: допуска размера и допуска формы и расположения поверхности. Если таких величин более двух, то операцию расчета проводят последовательно: сначала для двух величин, затем для общего допуска как результирующего двух величин и третьей погрешности и т.д.

16.6.3. Определение общего припуска

Общий припуск в ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) является наибольшим, предельным. Технологи по механической обработке могут предлагать его уменьшение после подробных расчетов и измерений. Упрощенно число переходов принято равным четырем: черновая, получистовая, чистовая и тонкая обработки. При этом общий припуск является суммарным для всех переходов обработки: черновой; черновой и получистовой; черновой, получистовой и чистовой; черновой, получистовой, чистовой и тонкой. Следовательно, припуск, соответствующий, например, чистовой обработке, включает в себя припуск на три перехода: черновую, получистовую и собственно чистовую обработку. Значения общего припуска приведены в табл. 16.5, входными параметрами при использовании которой являются общий допуск элемента поверхности отливки $T_{о.общ}$; ряд припуска (РП), определяемый исходным литейным припуском; число переходов механической обработки.

Общий допуск элемента отливки $T_{о.общ}$ при назначении общего припуска $Z_{общ}$ используется при обработке в приспособлениях, главным образом, в массовом производстве (рис. 16.13, *а*).

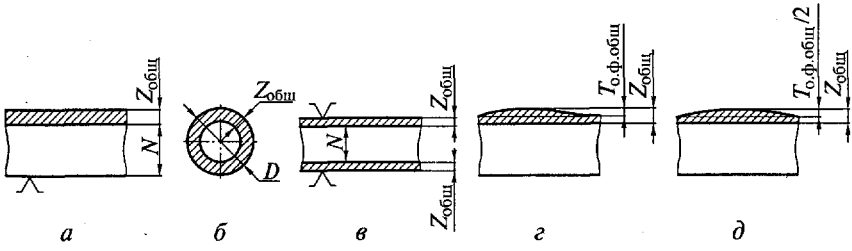


Рис. 16.13. Варианты (*а*—*д*) назначения общего допуска для механической обработки:

N — номинальный размер; $Z_{общ}$ — припуск на механическую обработку; $T_{о.ф.общ}$ — общий допуск формы поверхности

Таблица 16.5. **Определение общего припуска по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)**

Общий допуск $T_{o.общ}$ элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска (РП) отливки																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
До 0,10	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 0,10 до 0,11	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 0,11 до 0,12	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 0,12 до 0,14	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 0,14 до 0,16	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 0,16 до 0,18	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 0,18 до 0,20	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,2	1,4	1,8	—	—	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	1,9	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 0,20 до 0,22	Черновая	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	1,1	1,4	1,8	—	—	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,1	1,4	1,6	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 0,22 до 0,24	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,4	1,8	2,2	2,6	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	1,1	1,4	1,6	1,9	2,4	3,0	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	2,5	3,1	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	3,3	—	—	—	—	—	—
Свыше 0,24 до 0,28	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,2	2,7	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,0	2,4	3,0	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	3,2	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,2	2,6	3,3	—	—	—	—	—	—
Свыше 0,28 до 0,32	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,2	2,7	3,3	—	—	—	—	—
	Получистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,5	1,7	2,1	2,4	3,1	3,6	—	—	—	—	—
	Чистовая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,2	2,6	3,1	3,6	—	—	—	—	—
	Тонкая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,4	3,9	—	—	—	—	—
Свыше 0,32 до 0,36	Черновая	0,3	0,5	0,8	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,7	3,3	—	—	—	—	—
	Получистовая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	3,1	3,6	—	—	—	—	—
	Чистовая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,3	3,8	—	—	—	—	—
	Тонкая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,4	3,9	—	—	—	—	—
Свыше 0,36 до 0,40	Черновая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,3	4,3	—	—	—	—
	Получистовая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	3,2	3,7	4,8	—	—	—	—
	Чистовая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,3	3,8	5,0	—	—	—	—
	Тонкая	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,6	1,9	2,4	2,8	3,4	4,0	5,1	—	—	—	—

Продолжение табл. 16.5

Общий допуск $T_{о.общ}$ элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска (РП) отливки																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Свыше 0,40 до 0,44	Черновая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,4	4,3	—	—	—	—
	Получистовая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,2	2,6	3,1	3,6	4,8	—	—	—	—
	Чистовая	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	2,7	3,4	3,9	5,0	—	—	—	—
	Тонкая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	2,8	3,4	4,0	5,1	—	—	—	—
Свыше 0,44 до 0,50	Черновая	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8	3,4	4,4	5,3	—	—	—
	Получистовая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,3	1,8	2,2	2,6	3,3	3,8	4,8	5,8	—	—	—
	Чистовая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,4	1,9	2,4	2,8	3,5	3,9	5,2	6,2	—	—	—
	Тонкая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,5	2,0	2,5	2,9	3,6	4,1	5,3	6,3	—	—	—
Свыше 0,50 до 0,56	Черновая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,9	3,4	4,4	5,5	—	—	—
	Получистовая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,3	2,7	3,3	3,8	4,9	5,8	—	—	—
	Чистовая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	2,9	3,4	4,0	5,1	6,1	—	—	—
	Тонкая	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,6	3,0	3,6	4,3	5,5	6,3	—	—	—
Свыше 0,56 до 0,64	Черновая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4	2,9	3,5	4,4	5,5	6,5	—	—
	Получистовая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,4	2,8	3,4	3,9	5,0	6,0	7,1	—	—
	Чистовая	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,6	3,0	3,6	4,1	5,3	6,3	7,3	—	—
	Тонкая	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,2	2,7	3,1	3,8	4,3	5,4	6,5	7,5	—	—
Свыше 0,64 до 0,70	Черновая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,5	3,0	3,4	4,5	5,4	6,5	8,5	—
	Получистовая	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4	2,8	3,5	3,9	5,0	6,0	7,1	9,3	—
	Чистовая	0,9	1,1	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,9	2,2	2,6	3,1	3,6	4,1	5,3	6,3	7,5	9,8	—
	Тонкая	1,1	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3	2,8	3,1	3,9	4,4	5,6	6,5	7,8	9,8	—
Свыше 0,70 до 0,80	Черновая	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	31	3,6	4,6	5,6	6,5	8,5	—
	Получистовая	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,1	2,5	2,9	3,6	4,0	5,2	6,2	7,3	9,3	—
	Чистовая	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3	2,8	3,1	3,8	4,3	5,4	6,5	7,5	9,8	—
	Тонкая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,2	2,4	2,9	3,4	4,0	4,5	5,8	6,7	7,8	10,0	—

Свыше 0,80 до 0,90	Черновая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3,2	3,7	4,6	5,6	6,7	8,5	10,5
	Получистовая	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3	2,7	3,1	3,7	4,1	5,3	6,3	7,3	9,5	11,5
	Чистовая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,2	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	5,6	6,7	7,8	9,8	12,0
	Тонкая	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,6	3,1	3,4	4,1	4,6	5,8	6,9	8,0	10,5	12,5
Свыше 0,90 до 1,00	Черновая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,3	2,7	3,1	3,6	4,8	5,6	6,7	8,8	10,5
	Получистовая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7	3,2	3,8	4,3	5,3	6,3	7,5	9,5	11,5
	Чистовая	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,8	6,7	7,8	10,0	12,0
	Тонкая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,6	4,3	4,8	6,0	6,9	8,0	10,5	12,5
Свыше 1,00 до 1,10	Черновая	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,7	3,3	3,8	4,8	5,8	6,7	8,8	10,5
	Получистовая	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,6	1,9	2,2	2,4	2,8	3,1	3,8	4,3	5,3	6,3	7,5	9,5	11,5
	Чистовая	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,6	3,1	3,4	4,1	4,6	5,8	6,7	7,8	10,0	12,5
	Тонкая	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	3,3	3,7	4,4	4,9	6,0	7,1	8,3	10,5	12,5
Свыше 1,10 до 1,20	Черновая	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	3,4	3,8	4,8	5,8	6,9	8,8	11,0
	Получистовая	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,5	2,9	3,4	3,9	4,4	5,4	6,5	7,5	9,8	12,0
	Чистовая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,6	4,3	4,8	5,8	6,9	8,0	10,0	12,5
	Тонкая	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,4	2,7	2,8	3,4	3,8	4,4	4,9	6,2	7,1	8,3	10,5	12,5
Свыше 1,20 до 1,40	Черновая	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,5	2,9	3,5	3,9	4,9	6,0	6,9	9,0	11,0
	Получистовая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,4	4,1	4,6	5,6	6,7	7,8	9,8	12,0
	Чистовая	1,8	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8	3,0	3,4	3,9	4,5	5,0	6,1	7,1	8,3	10,5	12,5
	Тонкая	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,9	3,2	3,7	4,0	4,8	5,1	6,5	7,5	8,5	11,0	13,0
Свыше1,40 до 1,60	Черновая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,1	3,6	4,0	5,0	6,0	7,1	9,0	11,0
	Получистовая	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,7	2,9	3,3	3,6	4,3	4,8	5,8	6,9	8,0	10,0	12,0
	Чистовая	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,0	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	6,3	7,3	8,5	10,5	13,0
	Тонкая	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,9	4,3	5,0	5,4	3,7	7,8	8,8	11,0	13,5
Свыше 1,60 до 1,80	Черновая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,2	3,7	4,1	5,2	6,2	7,1	9,0	11,0
	Получистовая	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8	3,0	3,5	3,8	4,4	4,9	6,0	7,1	8,0	10,0	12,5
	Чистовая	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3,1	3,3	3,8	4,3	4,8	5,3	6,5	7,5	8,5	11,0	13,0
	Тонкая	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,4	3,6	4,0	4,4	5,2	5,6	6,9	7,8	9,0	11,0	13,5

Продолжение табл. 16.5

Общий допуск $T_{o.общ}$ элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска (РП) отливки																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Свыше 1,80 до 2,00	Черновая	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,8	3,3	3,8	4,3	5,1	6,1	7,3	9,3	11,0
	Получистовая	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,0	3,1	3,6	4,0	4,6	5,0	6,1	7,1	8,3	10,5	12,5
	Чистовая	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,4	3,6	4,0	4,4	5,0	5,4	6,7	7,8	8,8	11,0	13,0
	Тонкая	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,3	3,6	3,8	4,3	4,8	5,5	5,8	7,1	8,0	9,3	11,5	13,5
Свыше 2,00 до 2,20	Черновая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	3,0	3,4	3,9	4,4	5,5	6,3	7,3	9,5	11,5
	Получистовая	2,1	2,3	2,4	2,4	2,5	2,7	2,8	3,2	3,4	3,8	4,1	4,8	5,3	6,3	7,3	8,5	10,5	12,5
	Чистовая	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,3	3,6	3,8	4,3	4,6	5,1	5,8	6,9	8,0	9,0	11,0	13,5
	Тонкая	2,9	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,6	3,9	4,1	4,6	5,0	5,6	6,1	7,3	8,3	9,5	12,0	14,0
Свыше 2,20 до 2,40	Черновая	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	3,1	3,4	4,0	4,5	5,4	6,5	7,5	9,5	11,5
	Получистовая	2,4	2,5	2,6	2,6	2,8	2,9	3,1	3,4	3,6	4,0	4,4	5,0	5,4	6,5	7,5	8,8	11,0	13,0
	Чистовая	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	3,8	3,9	4,4	4,9	5,5	6,0	7,1	8,3	9,3	11,5	13,5
	Тонкая	3,1	3,1	3,3	3,4	3,4	3,6	3,8	4,1	4,3	4,8	5,1	5,8	6,3	7,5	8,5	9,8	12,0	14,0
Свыше 2,40 до 2,80	Черновая	1,8	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,9	3,3	3,6	4,1	4,6	5,6	6,7	7,8	9,8	11,5
	Получистовая	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,3	3,6	3,8	4,3	4,6	5,1	5,6	6,7	7,8	9,0	11,0	13,0
	Чистовая	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,8	4,0	4,3	4,8	5,2	5,8	6,1	7,5	8,5	9,5	11,5	14,0
	Тонкая	3,5	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	4,1	4,4	4,6	5,2	5,4	6,1	6,7	8,0	9,0	10,0	12,5	14,5
Свыше 2,80 до 3,20	Черновая	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,9	3,1	3,4	3,9	4,4	4,9	5,8	6,9	7,8	9,8	12,0
	Получистовая	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,4	3,6	4,0	4,1	4,6	5,0	5,6	6,0	7,1	8,3	9,3	11,5	13,5
	Чистовая	3,4	3,6	3,6	3,8	3,9	4,0	4,1	4,5	4,6	5,1	5,6	6,1	6,7	7,8	8,8	9,8	12,0	14,5
	Тонкая	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,3	4,5	4,8	5,0	5,4	5,8	6,5	7,1	8,3	9,3	10,5	12,5	15,0
Свыше 3,20 до 3,60	Черновая	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3	3,6	4,1	4,6	5,2	6,2	7,1	8,0	10,0	12,0
	Получистовая	3,3	3,4	3,4	3,6	3,6	3,8	4,0	4,3	4,5	4,9	5,3	5,8	6,3	7,5	8,5	9,5	11,5	14,0
	Чистовая	3,9	4,0	4,1	4,3	4,3	4,4	4,6	4,9	5,2	5,6	3,0	6,5	7,1	8,3	9,3	10,5	12,5	15,0
	Тонкая	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,3	5,5	6,0	6,3	7,1	7,5	8,8	9,8	11,0	13,0	15,5
3,60 до 4,00	Черновая	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2	3,3	3,5	3,4	3,6	3,9	4,3	4,8	5,3	6,3	7,3	8,3	10,5	12,5
	Получистовая	3,6	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,4	4,8	4,9	5,3	5,6	6,3	6,7	8,0	9,0	9,8	12,0	14,0
	Чистовая	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,3	5,5	6,0	6,3	6,9	7,5	8,8	9,8	10,5	13,0	15,0
	Тонкая	4,8	4,9	5,0	5,2	5,1	5,3	5,4	5,8	6,0	6,5	6,9	7,5	8,0	9,3	10,5	11,5	13,5	16,0
Свыше 4,00 до 4,40	Черновая	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,3	3,5	3,7	4,0	4,4	4,9	5,5	6,5	7,5	8,5	10,5	12,5
	Получистовая	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,3	4,5	4,8	5,0	5,5	5,8	6,3	6,9	8,0	9,0	10,0	12,0	14,5
	Чистовая	4,5	4,6	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,4	5,8	6,1	6,7	7,3	7,8	9,0	9,8	11,0	13,0	15,5
	Тонкая	4,9	5,0	5,2	5,3	5,3	5,5	5,6	6,0	6,2	6,7	7,1	7,8	8,3	9,5	10,5	11,5	14,0	16,0
Свыше 4,40 до 5,00	Черновая	2,9	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,6	3,8	4,0	4,4	4,8	5,3	5,8	6,7	7,8	8,8	11,0	13,0
	Получистовая	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,3	5,5	5,8	6,3	6,9	7,3	8,5	9,5	10,5	12,5	14,5
	Чистовая	5,0	5,1	5,3	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,3	6,7	7,1	7,8	8,3	9,5	10,5	11,5	14,0	16,0
	Тонкая	5,6	5,8	5,8	6,0	6,0	6,2	6,3	6,7	6,9	7,3	7,8	8,5	9,0	10,0	11,0	12,0	14,5	16,5
Свыше 5,00 до 5,60	Черновая	—	3,3	3,4	3,4	3,6	3,6	3,9	4,1	4,3	4,8	5,2	5,6	6,2	7,1	8,0	9,0	11,0	13,0
	Получистовая	—	4,9	5,8	5,2	5,1	5,3	5,4	5,8	6,0	6,3	6,7	7,3	8,0	9,0	9,8	11,0	13,0	15,5
	Чистовая	—	5,8	5,8	6,0	6,0	6,2	6,3	6,7	6,9	7,3	7,8	8,3	8,8	10,0	11,0	12,0	14,5	16,5
	Тонкая	—	6,3	6,5	6,5	6,7	6,7	6,9	7,3	7,5	8,0	8,3	9,0	9,5	11,0	12,0	13,0	15,0	17,5
Свыше 5,60 до 6,40	Черновая	—	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,4	4,6	4,8	5,1	5,6	6,2	6,5	7,5	8,5	9,5	11,5	13,5
	Получистовая	—	5,1	5,3	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,3	6,7	7,1	7,8	8,3	9,3	10,5	11,5	13,5	15,5
	Чистовая	—	6,1	6,3	6,3	6,5	6,5	6,7	7,1	7,3	7,8	8,3	8,8	9,3	10,5	11,5	12,5	15,0	17,0
	Тонкая	—	6,9	7,1	7,1	7,3	7,3	7,5	7,8	8,0	8,5	9,0	9,8	10,0	11,5	12,5	13,5	16,0	18,0
Свыше 6,40 до 7,00	Черновая	—	—	4,3	4,3	4,4	4,5	4,8	4,9	5,2	5,4	6,0	6,5	6,9	8,0	9,0	9,8	12,0	14,0
	Получистовая	—	—	5,8	6,0	6,0	6,2	6,3	6,7	6,9	7,3	7,5	8,3	8,8	9,8	11,0	12,0	14,0	16,0
	Чистовая	—	—	6,9	7,1	7,1	7,3	7,5	7,8	8,0	8,5	8,8	9,5	9,8	11,0	12,0	13,0	15,5	17,5
	Тонкая	—	—	7,8	7,8	7,8	8,0	8,3	8,5	8,8	9,3	9,5	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	16,5	18,5
Свыше 7,00 до 8,00	Черновая	—	—	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,5	5,6	6,0	6,5	6,9	7,5	8,5	9,5	10,5	12,5	14,5
	Получистовая	—	—	6,5	6,5	6,7	6,7	6,9	7,3	7,5	7,8	8,3	8,8	9,3	10,5	11,5	12,5	14,5	17,0
	Чистовая	—	—	8,0	8,0	8,0	8,3	8,5	8,8	9,0	9,5	9,8	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	16,5	18,5
	Тонкая	—	—	8,5	8,8	8,8	8,8	9,0	9,3	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	13,0	14,0	15,0	17,5	19,5

Продолжение табл. 16.5

Общий допуск $T_{o.общ}$ элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска (РП) отливки																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Свыше 8,00 до 9,00	Черновая	—	—	—	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,1	6,5	6,9	7,5	8,9	9,0	9,8	11,0	13,0	15,0
	Получистовая	—	—	—	7,3	7,5	7,5	7,8	8,0	8,3	8,8	9,0	9,8	10,0	11,0	12,0	13,5	15,5	17,5
	Чистовая	—	—	—	9,0	9,0	9,3	9,3	9,8	9,8	10,5	10,5	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	17,5	19,5
	Тонкая	—	—	—	9,8	9,8	9,8	10,0	10,5	10,5	11,0	11,5	12,5	13,0	14,0	15,0	16,0	18,5	20,5
Свыше 9,00 до 10,00	Черновая	—	—	—	6,0	6,0	6,2	6,3	6,5	6,7	7,1	7,5	8,5	8,5	9,5	10,5	11,5	13,5	15,5
	Получистовая	—	—	—	8,3	8,3	8,5	8,5	9,0	9,0	9,5	9,8	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	16,5	18,5
	Чистовая	—	—	—	9,8	9,8	9,8	10,0	10,5	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	14,0	15,0	16,0	18,0	20,5
	Тонкая	—	—	—	11,0	11,0	11,0	11,5	11,5	12,0	12,5	12,5	13,5	14,0	15,0	16,0	17,0	19,5	22,0
Свыше 10,00 до 11,00	Черновая	—	—	—	—	6,5	6,5	6,7	6,9	7,1	7,5	8,0	8,58	9,0	9,8	11,0	12,0	14,0	16,0
	Получистовая	—	—	—	—	8,5	8,8	8,8	9,3	9,3	9,8	10,0	10,5	11,0	12,5	13,5	14,5	16,5	18,5
	Чистовая	—	—	—	—	10,0	10,0	10,5	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	14,0	15,0	16,0	18,5	20,5
	Тонкая	—	—	—	—	11,0	11,5	11,5	12,0	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	15,5	16,5	17,5	19,5	22,0
Свыше 11,00 до 12,00	Черновая	—	—	—	—	7,1	7,3	7,5	7,5	7,8	8,3	8,5	9,0	9,5	10,5	11,5	12,5	14,5	16,5
	Получистовая	—	—	—	—	9,3	9,5	9,5	9,8	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	17,5	19,5
	Чистовая	—	—	—	—	11,0	11,0	11,5	11,5	12,0	12,5	12,5	13,5	14,0	15,0	16,0	17,0	19,5	21,0
	Тонкая	—	—	—	—	12,5	12,5	13,0	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,5	17,5	19,0	21,0	23,5
Свыше 12,00 до 14,00	Черновая	—	—	—	—	—	8,5	8,5	8,8	9,0	9,5	9,8	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	16,0	18,0
	Получистовая	—	—	—	—	—	11,0	11,5	11,5	12,0	12,0	12,5	13,0	13,5	15,0	16,0	17,0	19,0	21,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	12,5	13,0	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,5	17,5	18,5	21,0	23,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	14,5	14,5	15,0	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	18,5	19,5	20,5	23,0	25,0
Свыше 14,00 до 16,00	Черновая	—	—	—	—	—	9,5	9,5	9,8	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	17,0	19,0
	Получистовая	—	—	—	—	—	12,0	12,5	12,5	13,0	13,5	13,5	14,5	15,0	16,0	17,0	18,0	20,0	22,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	15,0	15,0	15,5	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	19,0	20,0	21,0	23,0	25,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	16,5	17,0	17,0	17,5	18,0	18,0	19,0	19,5	20,5	22,0	22,5	25,0	27,0
Свыше 16,00 до 18,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	10,5	11,0	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	14,0	15,0	16,0	18,0	20,0
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	13,5	14,0	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	17,0	18,0	19,0	21,0	23,5
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	15,5	16,0	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	19,5	20,5	21,0	23,0	26,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	18,0	18,0	18,0	19,0	19,5	20,0	20,5	22,0	22,5	24,0	26,0	28,0
Свыше 18,00 до 20,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	11,5	11,5	12,0	12,5	12,5	13,0	13,5	14,5	15,5	16,5	18,5	20,5
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	14,5	15,0	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	18,0	19,0	20,0	22,5	24,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	17,5	17,5	18,0	18,5	18,5	19,5	20,0	21,0	22,0	23,0	25,0	28,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	19,5	20,0	20,0	20,5	21,0	22,0	22,0	23,5	24,0	25,0	28,0	30,0
Свыше 20,00 до 22,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	13,0	13,5	13,5	14,0	14,5	15,0	16,0	17,0	18,0	20,0	22,0
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	16,5	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,5	20,5	22,0	24,0	26,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	19,5	19,5	20,0	20,5	21,0	21,0	22,5	23,5	25,0	27,0	29,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	21,0	22,0	22,0	22,5	23,5	24,0	25,0	26,0	27,0	29,0	31,5
Свыше 22,00 до 24,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	14,0	14,5	15,0	15,0	15,5	16,0	17,0	18,0	19,0	21,0	23,0
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	17,5	18,0	18,0	18,5	19,0	19,5	21,0	22,0	23,0	25,0	27,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	21,0	21,0	22,0	22,0	22,5	23,0	24,0	25,0	26,5	29,0	30,5
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	23,5	24,0	24,0	25,0	25,0	26,0	27,0	28,0	29,0	31,5	33,5
Свыше 24,00 до 28,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,5	20,5	21,0	23,5	25,0
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	20,5	21,0	21,0	22,0	22,5	23,5	25,0	26,0	28,0	30,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	23,5	24,0	24,0	25,0	25,0	26,5	28,0	29,0	30,5	33,5
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	26,0	26,5	27,0	28,0	28,0	29,0	30,5	31,5	33,5	35,5
Свыше 28,00 до 32,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	19,0	19,0	19,5	20,0	20,5	22,0	22,5	23,5	26,0	28,0
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	13,5	23,5	24,0	25,0	25,0	26,5	27,0	28,0	30,5	32,5
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	26,0	26,5	27,0	28,0	28,0	29,0	30,5	31,5	33,5	35,5
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	30,0	30,5	30,5	31,5	32,5	33,5	34,5	35,5	37,5	40,0
Свыше 32,00 до 36,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21,0	22,0	22,5	23,0	24,0	25,0	26,0	28,0	30,0
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26,5	27,0	27,0	28,0	29,0	30,0	31,5	33,5	35,5
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30,5	30,5	31,5	31,5	33,5	34,5	35,5	37,5	40,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	33,5	34,5	34,5	35,5	36,5	37,5	39,0	41,0	42,5

Окончание табл. 16.5

Общий допуск $T_{о.общ}$ элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска (РП) отливки																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Свыше 36,00 до 40,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23,5	24,0	25,0	25,0	26,0	27,0	28,0	30,0	32,5
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29,0	30,0	30,0	30,5	31,5	32,5	33,5	36,5	37,5
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32,5	33,5	33,5	34,5	35,5	36,5	37,5	40,0	42,5
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37,5	37,5	39,0	39,0	40,0	41,0	42,5	45,0	47,5
Свыше 40,00 до 44,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26,0	26,5	27,0	28,0	29,0	30,0	32,5	34,5
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32,5	33,5	34,5	35,5	36,5	37,5	39,0	41,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	36,5	37,5	37,5	39,0	40,0	41,0	44,0	46,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	39,0	40,0	40,0	41,0	42,5	44,0	46,0	47,5
Свыше 44,00 до 50,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30,0	30,0	30,5	31,5	32,5	33,5	33,5	37,5
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	36,5	37,5	37,5	39,0	40,0	41,0	42,5	45,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41,0	42,5	42,5	44,0	45,0	46,0	47,5	50,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44,0	44,0	45,0	46,0	47,5	47,5	50,0	53,0
Свыше 50,00 до 56,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	33,5	33,5	34,5	35,5	36,5	39,0	41,0
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42,5	42,5	44,0	44,0	45,0	47,5	50,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47,5	47,5	49,0	50,0	50,0	53,0	54,5
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50,0	50,0	51,5	53,0	53,0	56,0	58,0
Свыше 56,00 до 64,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	39,0	39,0	40,0	41,0	42,5	44,0	46,0
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	46,0	46,0	47,5	47,5	49,0	51,5	53,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50,0	50,0	51,5	53,0	53,0	56,0	58,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	53,0	53,0	54,5	54,5	56,0	58,0	60,0
Свыше 64,00 до 70,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42,5	42,5	44,0	45,0	47,5	49,0
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50,0	54,0	51,5	53,0	56,0	58,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56,0	56,0	58,0	58,0	61,5	63,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58,0	60,0	60,0	61,5	65,0	67,0
Свыше 70,00 до 80,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47,5	47,5	49,0	50,0	51,5	54,5
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56,0	56,0	58,0	58,0	61,5	63,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61,5	63,0	63,0	65,0	67,0	69,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	65,0	67,0	67,0	69,0	71,0	73,0

Таблица 16.6. **Определение вида механической обработки по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)**

Допуск размера отливки, мм	Соотношение допусков размеров детали и отливки от базы до обрабатываемой поверхности	Вид окончательной механической обработки
До 0,5	Свыше 0,4 Свыше 0,15 до 0,40 Свыше 0,10 до 0,15 До 0,10	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая
Свыше 0,5 до 1,0	Свыше 0,3 Свыше 0,10 до 0,30 Свыше 0,05 до 0,10 До 0,05	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая
Свыше 1,0 до 2,0	Свыше 0,2 Свыше 0,10 до 0,20 Свыше 0,05 до 0,10 До 0,05	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая
Свыше 2,0 до 5,0	Свыше 0,15 Свыше 0,05 до 0,15 Свыше 0,02 до 0,05 До 0,02	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая
Свыше 5,0	Свыше 0,10 Свыше 0,05 до 0,10 Свыше 0,02 до 0,05 До 0,02	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая

Таблица 16.7. **Определение вида механической обработки по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)**

Допуск размера отливки, мм	Соотношение допусков формы и расположения обработанной поверхности детали и обрабатываемой поверхности отливки	Вид окончательной механической обработки
До 0,5	Свыше 0,4 Свыше 0,10 до 0,4 Свыше 0,02 до 0,10 До 0,02	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая
Свыше 0,5 до 1,0	Свыше 0,3 Свыше 0,10 до 0,3 Свыше 0,02 до 0,10 До 0,02	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая
Свыше 1,0 до 2,0	Свыше 0,20 Свыше 0,05 до 0,20 Свыше 0,01 до 0,05 До 0,01	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая
Свыше 2,0 до 5,0	Свыше 0,10 Свыше 0,02 до 0,10 Свыше 0,005 до 0,02 До 0,005	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая
Свыше 5,0	Свыше 0,05 Свыше 0,01 до 0,05 Свыше 0,002 до 0,01 До 0,002	Черновая Получистовая Чистовая Тонкая

Таблица 16.8. **Взаимосвязь точности обработки и припусков на обработку отливок**

Характеристика металлообрабатывающего оборудования	Точность обработки при разной степени точности станков*	
	нормальная	высокая
Автоматизированное оборудование, оснащенное устройствами для стабилизации и управления точностью обработки	—	Высокая
Автоматизированное оборудование (агрегатные станки и станки с ЧПУ, автоматические линии из агрегатных станков с ЧПУ и гибких производственных модулей и т. п.)	Средняя	Повышенная
Неавтоматизированное оборудование (станки с ручным управлением)	Пониженная	Средняя

* К нормальной степени точности станков отнесены станки нормальной точности по ГОСТ 8—82, а к высокой степени точности станков — станки повышенной, высокой и особо высокой точности по ГОСТ 8—82.

При назначении общего припуска на поверхности вращения (рис. 16.13, *б*) и противоположные поверхности (рис. 16.13, *в*), используемые в качестве взаимных баз при их обработке, вместо $T_{\text{о.общ}}$ принимают $T_{\text{о.общ}}/2$.

При индивидуальной обработке отливок с установкой обрабатываемой плоскости относительно плоскости перемещения режущего инструмента допуск на размер отливки $T_{\text{о}}$ значения не имеет и может быть принят равным нулю. Основную роль при назначении общего припуска играет допуск формы $T_{\text{о.ф}}$ и расположения ($T_{\text{о.п}}$ — позиционный допуск, $T_{\text{о.см}}$ — допуск смещения), поэтому

$$T_{\text{о.общ}} = T_{\text{ф.общ}} = \sqrt{T^2_{\text{о.ф}} + T^2_{\text{о.п}} + T^2_{\text{о.см}}}. \qquad (16.1)$$

В случае двусторонних отклонений формы и расположения при назначении припуска при индивидуальной обработке принимают $T_{\text{о.общ}} = T_{\text{о.ф.общ}}$ (рис. 16.13, *г*), а в случае односторонних отклонений $T_{\text{о.общ}} = T_{\text{о.ф.общ}}/2$ (рис. 16.13, *д*).

Вид окончательной механической обработки (черновая, получистовая, чистовая, тонкая) можно определить по соотношению допуска размера от базы до обрабатываемой поверхности детали после окончательной механической обработки $T_{\text{д}}$ и допуска соответствующего размера отливки $T_{\text{о}}$ или по соотношению допуска формы и расположения детали $T_{\text{д.ф}}$ и допуска формы и расположения отливки $T_{\text{о.ф}}$ (табл. 16.6 и 16.7).

Таким образом, по найденным ряду припуска (РП), общему допуску и окончательному виду механической обработки определяют общий припуск $Z_{\text{общ}}$.

Значения припусков, приведенные в табл. 16.5, следует применять при среднем уровне точности обработки (табл. 16.8).

При повышенной или высокой точности обработки следует принимать значения припусков, соответствующие интервалам общих допусков, расположенных в табл. 16.5 соответственно на одну или две строки выше интервала действительного допуска, при пониженном уровне точности обработки — на одну строку ниже интервала действительного допуска.

16.7. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОТЛИВОК

Анализ формирования размерной и геометрической точности точности массы отливок показал, что повышение точности отливок может быть достигнуто при стабилизации параметров технологического процесса, использовании асимметричных допусков, уменьшении систематических погрешностей, сокращении припуска на обработку. Подробнее остановимся на возможностях повышения точности отливок.

16.7.1. Стабилизация технологических параметров

В данном подразделе по результатам производственных экспериментов оценено влияние стабилизации технологических параметров, относящихся к форме и металлу при литье в песчано-глинистые формы, на точность размеров (ВР1), образованных одной полуформой, и интегрального показателя точности отливок — точности массы. Эксперименты проводили в текущем поточно-механизированном производстве литейного цеха автомобильного завода при изготовлении отливки «чашка дифференциала» из белого чугуна со средней массой 9,5 кг (рис. 16.14). При этом измеряли диаметры D_1 и D_2, взвешиванием определяли массу отливки и контролировали влажность смеси в форме, твердость формы, температуру заливки чугуна в форму и химический состав (суммарное содержание (C + Si) в чугуне отливки).

Первые два параметра (влажность и твердость) характеризуют влияние формы на точность, а вторые (температура заливки и химический состав) — влияние металла на точность размеров.

Аналогичные эксперименты в автоматизированном производстве проведены с более высокой технологической дисциплиной.

Результаты статистической обработки полученных данных (табл. 16.9) свидетельствуют о том, что в автоматизированном производстве не только колебания параметров меньше, но и уровень параметров, относящихся к форме, другой. Кроме того, в табл. 16.9 приведены результаты расчета допусков размеров отливок в поточно-механизированном производстве при колебаниях значений параметров, которые определены для автоматизированного производства. При этом достигнуто существенное повышение точности.

Установлено, что повышение точности размеров (уменьшение допуска) в поточно-механизированном производстве на 65 % достигается за счет более высокой технологической дисциплины. Это свидетельствует о существенных резервах повышения точности. Следует отметить, что уменьшение ко-

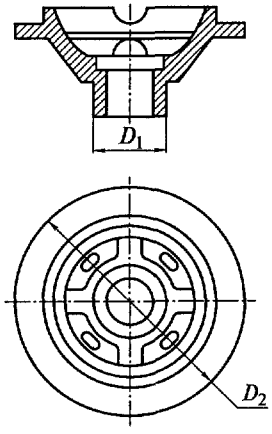


Рис. 16.14. Отливка типа «чашка дифференциала»:
D_1, D_2 — контролируемые диаметры отливки

Таблица 16.9. **Сопоставление допусков размеров с учетом параметров поточно-механизированного и автоматизированного производств**

Вид производства	Допуск размеров, мм		Технологические параметры			
	78	246	Влажность, %	Твердость по твердомеру модели 04412А (071), ед.	Температура, °С	Содержание C+Si, %
Поточно-механизированное	2,4	4,8	5,3±0,8	75±6	1360±60	3,7±0,45
Автоматизированное	0,8	1,6	3,6±0,5	81±3	1360±30	3,7±0,2
Поточно-механизированное (расчет)	1,3	2,6	5,3±0,5	75±3	1360±30	3,7±0,2

лебания размеров за счет изменения уровня параметров (уменьшения влажности и повышения прочности) достигает 35 %.

16.7.2. Повышение геометрической точности отливок

Геометрическая точность рассмотрена на примере отливки гильзы цилиндров автомобиля ЗИЛ-130 (рис. 16.15) с наружным диаметром $D = 119$ мм и внутренним $d = 94$ мм. При этом контролировалась погрешность овальности путем измерения внутреннего диаметра на торце во взаимно-перпендикулярных плоскостях, разностенности, смещения (D_{max} и D_{min}) (рис. 16.15, *а*), конусности (диаметры d_1 и d_2) (рис. 16.15, *б*). Контроль диаметров 94 и 119 мм и обработка результатов показали, что без учета погрешностей формы и расположения, особенно смещения, поле рассеивания соста-

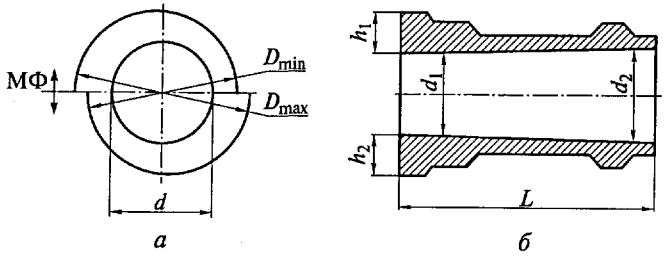


Рис. 16.15. Контроль размеров отливки гильзы:

а — контроль наружного диаметра отливки с учетом смещения элементов отливки; *б* — контроль размеров отливки с учетом погрешностей конусности, разностенности; d — внутренний диаметр отливки; D_{min}, D_{max} — минимальный и максимальный диаметр из-за смещения по плоскости разъема; d_1, d_2, h_1, h_2 — контролируемые внутренний диаметр и толщина стенок отливки

Таблица 16.10. **Результаты статистической обработки обмеров штырей и втулок на АФЛ конструкции НИИтракторсельхозмаш при экспериментальных исследованиях точности отливки гильзы цилиндро**

Объект замеров		Номинальный размер, мм	Статистические характеристики диаметров штырей и втулок, мм			
			для опоки		для модельной плиты	
			$\bar{X}$	$\pm 3S$	$\bar{X}$	$\pm 3S$
Штырь круглый	Верх	35,0	34,63	0,66	34,6	0,16
Штырь квадратный		35,0	29,68	0,51	29,7	0,15
Втулка круглая	Низ	35,0	35,35	0,78	35,6	0,15
Втулка разрезная (плоская)		30,0	30,30	0,57	30,05	0,15

вило соответственно 2,4 мм ((94±1,2) мм) и 3,6 мм ((119±1,8) мм), а с учетом погрешностей — 3,9 ((94±1,95) мм) (на 38 % больше) и 4,7 мм ((119±2,35) мм) (на 36 % больше). Смещение по плоскости разъема отливки вызвано увеличенным зазором в системе штырь—втулка, обусловленным износом штырей и втулок опоки и модельной плиты. Результаты измерений диаметров штырей и втулок и их обработка приведены в табл. 16.10.

Смещение элементов отливки вызвано увеличенным зазором в системе штырь—втулка, обусловленным износом штырей, втулок опоки и модельной плиты (см. табл. 16.10).

Допуск смещения по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) для отливки гильзы цилиндров должен составлять 1,4 мм, а реально составил по квадратному штырю — 1,7 мм, по круглому — 2,76 мм. Следовательно, необходимы строгий контроль за износом штырей и втулок и их своевременная замена. Эта мера позволяет снизить припуск на обработку внешнего диаметра гильзы, определенный в соответствии с ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.), с 3,4 до 2,7 мм.

16.7.3. Использование асимметричных допусков в размерах отливок

В соответствии с ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) допускается асимметричное расположение допусков размеров (частичное или полное), но только на необрабатываемые несопрягаемые габаритные или иные внешние размеры, за исключением толщин стенок.

Например, допуск 4 мм для размера $(200 \pm 2{,}0)$ мм можно расположить асимметрично по двум вариантам: $\left(200^{+1{,}0}_{-3{,}0}\right)$, $\left(200^{0}_{-4{,}0}\right)$ мм. В первом варианте размер, соответствующий середине поля допуска и принимаемый при проектировании модельно-стержневой оснастки за номинальный, будет равен (197 + 201)/2 = 199 мм, во втором — (196 + 200)/2 = 198 мм. Расчеты, проведенные С. П. Рябовым, показывают, что использование асимметричных допусков и, как следствие, уменьшение номинального размера, принимаемого при проектировании оснастки, позволяет экономить до 5 % металла.

16.7.4. Уменьшение систематических погрешностей

Рассмотрим возможности уменьшения систематических погрешностей в размерах отливок за счет некоторых резервов, которые можно выявить как в действующем производстве на эксплуатируемой оснастке, так и на стадии проектирования.

Определение размеров новой модельно-стержневой оснастки. Для размеров, образуемых стержнями в нагреваемой оснастке, необходимо учитывать зависимость остаточной деформации от типа связующего и параметров процесса [49]. С этой целью можно использовать следующие уравнения:

$$l_м = l_о + \Delta l_д - \Delta l_к; \qquad (16.2)$$

$$l_м = l_о \left[1 + (\varepsilon l_{ср} - \varepsilon_{ост})/100\right] - \Delta l_к, \qquad (16.3)$$

где $l_м$ и $l_о$ — соответственно размеры оснастки и отливки; $\Delta l_д$ — припуск на усадку, определяемый по экспериментальным данным [49]; $\Delta l_к$ — толщина слоя краски; $\varepsilon l_{ср}$ — средняя статистическая усадка отливок (например, для отливок из серого чугуна $\varepsilon l_{ср} = 1\,\%$); $\varepsilon_{ост}$ — остаточная деформация стержней, принимаемая в первом приближении равной $\varepsilon_н$ (деформации расширения при нагреве оснастки).

При переходе на новый технологический процесс с более высокими, по сравнению с существующими, точностными возможностями и стабилизации технологического процесса (см. подразд. 16.7.1) можно воспользоваться следующими уравнениями для определения размеров оснастки с учетом случайных погрешностей:

$$l_м = l_о + \Delta l_д \pm (T_о/2 - 3S); \qquad (16.4)$$

$$l_м = l_о \left[1 + (\varepsilon l_{ср} - \varepsilon_{ост})/100\right] \pm (T_о/2 - 3S), \qquad (16.5)$$

где $T_о$ — допуски размеров отливок по чертежу или нормам точности для существующего технологического процесса; S — действительные поля рассеивания, определяемые в результате статистической обработки данных обмеров отливок.

В уравнениях (16.4) и (16.5) знак «+» перед последней разностью в скобках принимается для размеров отливок, охватывающих

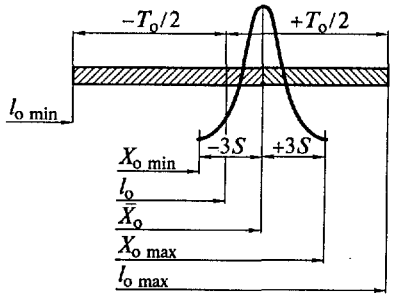


Рис. 16.16. Параметры, необходимые для определения систематических погрешностей в размерах эксплуатируемой оснастки:

$-T_o$, $+T_o$ — допуски размеров отливок; l_o, $l_{o\,min}$, $l_{o\,max}$, $\bar{X}_o$, $X_{o\,min}$, $X_{o\,max}$ — размеры отливки

форму (стержень), а знак «–» — для размеров отливок, охватываемых формой (стержнем).

Определение систематических погрешностей эксплуатируемой модельно-стержневой оснастки. В условиях производства определение систематической погрешности проводится для условий (рис. 16.16):

$$l_{o\,min} = l_o - T_o/2 = X_{o\,min} = \bar{X}_o - 3S; \qquad (16.6)$$

$$l_{o\,max} = l_o + T_o/2 = X_{o\,max} = \bar{X}_o + 3S, \qquad (16.7)$$

где l_o, $l_{o\,min}$, $l_{o\,max}$ — соответственно номинальный, минимальный и максимальный размеры отливки по чертежу; $\bar{X}_o$, $X_{o\,min}$, $X_{o\,max}$ — среднеарифметический, минимальный и максимальный размеры отливок.

Условие (16.6) относится к размерам, охватываемым формой (стержнем), а условие (16.7) — к размерам, охватываемым форму (стержень). Исходя из этих двух условий, в соответствии с рис. 16.16, систематическая погрешность будет равна

$$\Delta = (l_o - \bar{X}_o) \pm (T_o/2 - 3S). \qquad (16.8)$$

Правило знаков в уравнении (16.8) такое же, как и в уравнениях (16.4) и (16.5). Если результат получается со знаком «+», то размеры эксплуатируемой оснастки необходимо увеличить, а если со знаком «–», то ее размеры необходимо уменьшить на эту величину.

Значения $\bar{X}_o$ и $6S$ определяются по результатам статистической обработки результатов замеров отливок (см. разд. 16.1).

16.7.5. Уменьшение припусков на обработку

Основными составляющими припуска на обработку являются допуски линейного размера и отклонения формы и расположения обрабатываемой поверхности отливки. Поэтому уменьшение соответственно полей рассеивания и отклонений формы и расположения ведет к снижению припусков на обработку.

При переходе на новый технологический процесс, имеющий более высокие точностные возможности, следует уточнять величину припуска на механическую обработку. Для разработки рекомендаций по новым припускам необходимо накопление данных,

однако ориентировочно уменьшение припуска может быть принято равным разности между половинами полей допусков, т.е. последнему члену в уравнениях (16.4) и (16.5).

Из этого следует, что при одновременном изготовлении отливок на автоматизированных и поточно-механизированных линиях необходимо иметь два чертежа отливки и соответственно два чертежа на модельную оснастку.

На практике для этих двух технологий изготовления отливок используется один чертеж отливки, на котором указывается одинаковый уменьшенный припуск на обработку, соответствующий технологии изготовления отливок на автоматизированных линиях. Однако брак по черноте на отливках, изготовленных на поточно-механизированных линиях, при этом не появляется. Так, например, из опыта литейного производства ГАЗа, завода «Центролит» (г. Саранск) на чертежах отливок из серого чугуна (тормозной барабан, гильза цилиндров и др.), одновременно изготовляемых на автоматизированных и поточно-механизированных линиях, припуски были уменьшены на два класса по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.).

Объясняется сложившаяся практика тем, что при проектировании модельной оснастки для отливок из серого чугуна принимается линейная усадка, равная 1 %. В действительности же она существенно меньше [49], особенно в поточно-механизированном производстве. Поэтому отливки имеют систематические погрешности и, следовательно, увеличенный припуск. Снижение припуска в этом случае соответствует уменьшению (устранению) систематической погрешности.

Сам же припуск (толщина снимаемого металла) остается равным заданному, поскольку до операции уменьшения припуска он был больше заданного на величину систематической погрешности, возникшей из-за некорректного назначения усадки.

Описанная ситуация свидетельствует о наличии систематических погрешностей в отливках и указывает на один из путей их уменьшения или полного устранения. Естественно, при этом речь идет об обрабатываемых поверхностях отливок. Для необрабатываемых поверхностей устранение систематических погрешностей размеров возможно при проектировании модельной оснастки с использованием уравнений (16.3) и (16.8).

16.8. НОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ

16.8.1. Принцип равной точности

При нормировании допусков используется принцип равной точности, который можно сформулировать следующим образом: допуски параметров (размеров, массы, коробления) зависят от

номинального значения параметра в соответствии с определенной закономерностью, поэтому все параметры, выполненные с допусками, соответствующими этой закономерности, имеют равную точность, несмотря на различия допусков для разных номинальных размеров.

Зависимость величины отклонений от номинального значения параметра называется единицей допуска. Для размеров уравнение единицы допуска в общем виде следующее:

$$i_{\text{р}} = f(N),$$

где $i_{\text{р}}$ — единица допуска размера; N — номинальное значение размера.

Допуск $T_{\text{о}}$ размера с номинальным значением N определяется умножением единицы допуска на соответствующее число единиц допуска a, т.е.

$$T_{\text{о}} = i_{\text{р}} a.$$

Последнее уравнение характеризует зависимость допусков от номинального значения параметра для определенного класса (квалитета) точности. Именно эта зависимость и реализует принцип равной точности: все размеры (массы), выполненные по одному классу точности, имеют равную точность.

16.8.2. Нормирование допусков размеров отливок

Нормирование допусков размеров, полученных обработкой резанием, осуществляется в соответствии с уравнением для определения единицы допуска [19]:

$$i_{\text{р}} = 0,45\sqrt[3]{N + 0,001}, \quad N \le 500 \text{ мм};$$

$$i_{\text{р}} = 0,04N + 2,1, \quad 500 \le N \le 10\,000 \text{ мм},$$

где $N = \sqrt{N_{\min} N_{\max}}$ — номинальный размер, равный среднему геометрическому значению интервала от $N_{\min}$ до $N_{\max}$; $i_{\text{р}}$ — единица допуска размера, мкм.

Однако, как показали экспериментальные измерения, зависимость допусков размеров отливок от их номинальных значений не подчиняется приведенным выше закономерностям. Поэтому для соблюдения (выполнения) принципа равной точности отливок необходима единица допуска их размеров.

Единица допуска размеров отливок в общем виде предложена А.А. Волкомичем и представляет собой трехчленное уравнение

$$i_{\text{р}} = AN + B\left[1 - \exp(-kN^n)\right] + C, \qquad (16.9)$$

где $i_{\text{р}}$ — единица допуска размера, мкм; N — номинальный размер, мм; A, B, C, k, n — коэффициенты.

Первое слагаемое уравнения (16.9) линейно зависит от номинального значения размера и характеризует, главным образом, влияние колебаний линейной усадки отливки на точность размера. Второе комплексное слагаемое уравнения (16.9) зависит от номинального размера по сложной экспоненциальной функции и характеризует влияние на точность размеров точности изготовления модельно-стержневой оснастки, точности сборки литейной формы, взаимодействия отливки и формы, включая расширение формы и отливки и т. п.

Третье слагаемое уравнения (16.9) (постоянная величина C) не зависит или слабо зависит от номинального размера и характеризует влияние на точность размеров шероховатости поверхности, износа, деформации формы и т. п.

Очевидно, что первое слагаемое уравнения при малых номинальных размерах вносит соответственно малый вклад в формирование точности размеров, тогда как основным его вклад становится при больших значениях размера, начиная примерно с 3000 мм.

Основной вклад второго и третьего слагаемых соответствует их малым значениям.

Используя уравнение (16.9), с помощью статистической обработки многочисленных экспериментальных данных были определены коэффициенты в уравнении для определения единицы допуска:

$$i_{\text{р}} = 0,002N + 3\left[1 - \exp(-0,03N^{0,5})\right] + 0,6. \qquad (16.10)$$

Уравнение (16.10) использовано при разработке ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.).

Важным вопросом при разработке стандартов является выбор числа классов, который определяется, с одной стороны, возможностями литейного производства, а с другой, постоянным множителем, равным отношению допусков соседних классов.

Постоянный множитель в системе ISO, предназначенной для механической обработки, принят равным 1,6.

Для обоснованного назначения постоянного множителя в литейном производстве была проведена обработка экспериментальных данных по уравнению

$$a = \frac{6S_N}{i_{\text{р}}} 10^3, \qquad (16.11)$$

где a — количество единиц допуска размеров; $6S_N$ — допуск конкретного размера отливки, определенный в результате статистической обработки данных измерений отливок, мм.

Как следует из рис. 16.17, несмотря на существенные изменения технологического процесса изготовления отливок из железоуглеродистых сплавов в сырой песчано-глинистой форме, их до-

пуск при множителе 1,6 остается в одном классе. Например, точность отливок, изготовленных на поточно-механизированных и автоматизированных линиях, характеризуется в основном чис-

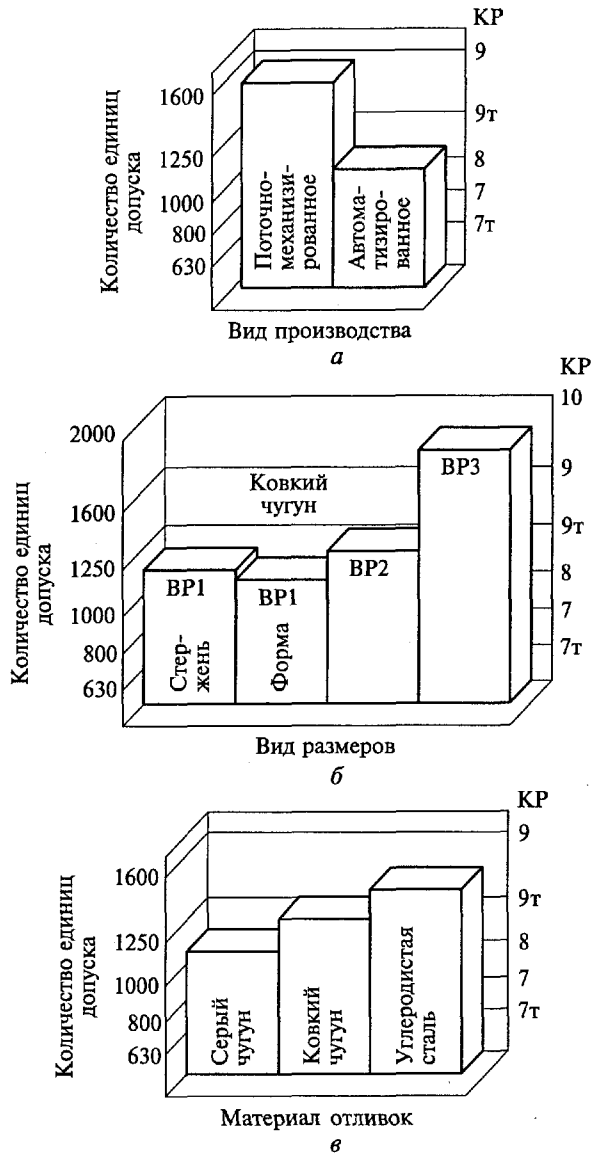


Рис. 16.17. Экспериментальные значения количеств единиц допуска и классов точности размеров отливок (КР) в зависимости от вида производства (*а*), вида размеров (*б*) и материала отливок (*в*)

лом единиц от 1000 до 1600, что соответствует одному классу (рис. 16.17, *а*). Такая же закономерность наблюдается с точностью размеров ВР1, ВР2, ВР3 (рис. 16.17, *б*) и видом материала отливки (серый чугун СЧ, ковкий чугун КЧ и углеродистая сталь) (рис. 16.17, *в*).

Сравнение результатов измерений размеров отливок из алюминиевых сплавов и серого чугуна, изготовленных в песчано-глинистых формах, также указывает на их различие примерно в 1,25 раза.

Следовательно, для того чтобы один и тот же размер характеризовался разными показателями (классами) точности при измерении всех названных параметров, необходимо постоянный множитель выбрать равным 1,25.

Анализ точности размеров отливок разной сложности, изготовленных разными способами литья из промышленных сплавов, показал, что все допуски укладываются в 22 класса.

По уравнению (16.10) для определения единицы допуска размеров и данным о количестве единиц допуска (табл. 16.11) рассчитаны значения допусков для разных классов точности размеров (табл. 16.12).

Сравнение полученных результатов с международным стандартом ISO 8062 «Отливки — система допусков на размеры», утвержденным в 1984 г., показало, что закономерность изменения отклонений в стандарте ISO 8062 оказалась близкой к вышеприведенному уравнению для определения единицы допуска. Но постоянный множитель в стандарте ISO принят равным 1,4 для классов 1—13 и 1,25 для классов 14—16.

Таблица 16.11. **Количество единиц допуска размеров (*а*) для разных классов точности размеров (КР) отливок**

Класс точности размеров отливок	Количество единиц допуска размеров (*а*)	Класс точности размеров отливок	Количество единиц допуска размеров (*а*)
1	100	9т	1250
2	125	9	1600
3т	160	10	2000
3	200	11т	2500
4	250	11	3150
5т	315	12	4000
5	400	13т	5000
6	500	13	6300
7т	630	14	8000
7	800	15	10 000
8	1000	16	12 500

Таблица 16.12. **Допуски линейных размеров отливок по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)**

Интервал номинальных размеров, мм	Допуски размеров отливок, мм, не более, для класса точности размеров																					
	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16
До 4	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	—	—	—	—	—	—
Свыше 4 до 6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	—	—	—	—	—
Свыше 6 до 10	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	—	—	—
Свыше 10 до 16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	—	—
Свыше 16 до 25	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0
Свыше 25 до 40	0,12	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0
Свыше 40 до 63	0,14	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0
Свыше 63 до 100	0,16	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0
Свыше 100 до 160	—	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0
Свыше 160 до 250	—	—	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0
Свыше 250 до 400	—	—	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0
Свыше 400 до 630	—	—	—	—	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,20	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28,0
Свыше 630 до 1000	—	—	—	—	—	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0
Свыше 1000 до 1600	—	—	—	—	—	—	—	1,40	1,80	2,20	2,80	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28,0	36,0
Свыше 1600 до 2500	—	—	—	—	—	—	—	—	2,00	2,40	3,20	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0
Свыше 2500 до 4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,20	3,60	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28,0	36,0	44,0
Свыше 4000 до 6300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0
Свыше 6300 до 10 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	64,0
Свыше 10 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	64,0	80,0

В этой связи принято решение в отечественном стандарте ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) сохранить обозначение классов и интервалы размеров, принятые в стандарте ISO. Однако при этом число классов при постоянном множителе, равном 1,25, увеличилось, поэтому были введены классы с индексом «т» (точный) с условием: допуски для классов с индексом «т» меньше допусков соответствующего класса ISO 8062.

В табл. 16.12 приведены допуски линейных размеров по 22 классам, включая классы с индексом «т».

16.8.3. Нормирование допусков формы и расположения

Как отмечено в подразд. 16.3, основной причиной появления отклонений формы отливок является их коробление в литейной форме, после выбивки и в процессе термической обработки, которое прямо пропорционально длине нормируемого участка.

На основе анализа имеющихся данных по короблению и обработке полученных результатов установлена единица $i_ф$ допуска формы и расположения поверхностей отливки

$$i_ф = 0,01 L_ф, \qquad (16.12)$$

где $L_ф$ — длина нормируемого участка, мм.

Диапазон допусков формы и расположения элементов отливки включает в себя 11 степеней (классов) коробления с множителем 1,25 (табл. 16.13).

По тому же принципу, что и для допусков размеров, произведена разбивка на интервалы номинальных размеров нормируемо-

Таблица 16.13. **Допуски формы и расположения поверхности отливки по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)**

Номинальный размер нормируемого участка отливки, мм	Допуски $T_{о.ф}$ формы и расположения элементов отливки, мм, не более, при степени коробления элементов отливки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
До 125	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20
Свыше 125 до 160	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60
Свыше 160 до 200	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00
Свыше 200 до 250	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40
Свыше 250 до 315	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20
Свыше 315 до 400	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00

Окончание табл. 16.13

Номинальный размер нормируемого участка отливки, мм	Допуски $T_{о.ф}$ формы и расположения элементов отливки, мм, не более, при степени коробления элементов отливки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Свыше 400 до 500	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00
Свыше 500 до 630	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40
Свыше 630 до 800	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00
Свыше 800 до 1000	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,0
Свыше 1000 до 1200	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,0	12,0
Свыше 1200 до 1600	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,0	12,0	16,0
Свыше 1600 до 2000	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,0	12,0	16,0	20,0
Свыше 2000 до 2500	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0
Свыше 2500 до 3150	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0
Свыше 3150 до 4000	4,00	5,00	6,40	8,00	10,00	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0
Свыше 4000 до 5000	5,00	6,40	8,00	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0
Свыше 5000 до 6300	6,40	8,00	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	—
Свыше 6300 до 8000	8,00	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	—	—
Свыше 8000 до 10 000	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	—	—	—
Свыше 10 000	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	—	—	—	—

го участка: различие в допусках на границах интервалов не должно превышать 12,5 %.

16.8.4. Нормирование допусков неровностности поверхности

Диапазон допусков на высоту неровностности, составляющий от 0,05 до 6,4 мм, по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) разбит на 22 степени точности поверхностей с постоянным множителем 1,25 (табл. 16.14).

Таблица 16.14. **Допуски неровностности по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) для степеней точности поверхности (СП)**

Степень точности поверхности	Допуск неровностности, мм	Степень точности поверхности	Допуск неровностности, мм
1	0,05	12	0,64
2	0,06	13	0,80
3	0,08	14	1,00
4	0,10	15	1,20
5	0,12	16	1,60
6	0,16	17	2,00
7	0,20	18	2,40
8	0,24	19	3,20
9	0,32	20	4,00
10	0,40	21	5,00
11	0,50	22	6,40

16.8.5. Нормирование допусков массы

С учетом единицы допуска массы, предложенной М.Г.Штанко, и результатов обработки собственных экспериментальных исследований при разработке ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) было принято следующее уравнение для определения единицы допуска массы:

$$i_m = 4,225 \cdot 10^{-3} m^{-0,16}, \qquad (16.13)$$

где i_m — единица допуска массы, %; m — масса отливки, кг.

Диапазон отклонений массы, очевидно, должен быть разделен на 22 класса с постоянным множителем 1,25, так как основное влияние на допуски массы оказывает точность размеров (объема), которая характеризуется 22 классами (табл. 16.15).

16.9. ОБОБЩЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ ОТЛИВОК

В приложениях к ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) приведены рекомендуемые таблицы назначения параметров точности отливок. Входными параметрами в этих таблицах являются обобщенные параметры, а именно: технологический процесс литья, вид сплава, наибольший габаритный размер и сложность отливок, серийность производства, уровень механизации и автоматизации и культура производства. При назначении точностных параметров отливок по этим таблицам ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) рекомендуемые значения получаются в широком диапазоне.

Связано это обстоятельство с недостаточной разработанностью некоторых параметров. Например, если влияние технологических процессов литья, габаритного размера отливок, вида сплава учте-

Таблица 16.15. **Допуски T_m массы отливок по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)**

Номинальная масса отливки, кг	Допуски массы отливок, %, не более, для классов точности массы																					
	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16
До 0,1	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	—	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 0,1 до 0,4	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	16,0	24,0	32,0	—	—	—	—	—	—	—
Свыше 0,4 до 1	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	12,0	16,0	24,0	32,0	—	—	—	—	—	—
Свыше 1 до 4	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	10,0	12,0	16,0	24,0	32,0	—	—	—	—	—
Свыше 4 до 10	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	8,0	10,0	12,0	16,0	24,0	32,0	—	—	—	—
Свыше 10 до 40	—	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	24,0	32,0	—	—	—
Свыше 40 до 100	—	—	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	24,0	32,0	—	—
Свыше 100 до 400	—	—	—	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	24,0	32,0	—
Свыше 400 до 1000	—	—	—	—	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	24,0	32,0
Свыше 1000 до 4000	—	—	—	—	—	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	24,0
Свыше 4000 до 10 000	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0
Свыше 10 000 до 40 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	1,2	1,6	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0
Свыше 40 000 до 100 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	1,2	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0
Свыше 100 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0

но, то такие обобщенные параметры, как сложность отливки, серийность производства, уровень механизации и автоматизации и культура производства, отсутствуют. Именно этим и объясняется широкий диапазон классов и степеней точности в ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.). Широкий диапазон классов и степеней точности затрудняет назначить их для одной и той же отливки, изготовляемой казалось бы, одинаковым процессом.

В качестве примера можно рассмотреть отливки тормозного барабана, которые изготовлялись на двух заводах — ЗИЛе и «Центролите» (г. Рязань) — по одной и той же технологии в поточно-механизированном производстве, но имели существенно разные точность размеров и массу. На ЗИЛе точность размеров отливки существенно выше, при этом отливка, изготовленная на «Центролите», имеет большую массу. Этот результат связан с тем, что при одном и том же технологическом процессе культура производства на упомянутых заводах разная.

ГЛАВА 17

ЛИТЕЙНЫЕ ДЕФЕКТЫ И МЕТОДЫ ИХ КОНТРОЛЯ

Сложность технологического процесса изготовления отливок, влияние на него многих факторов и их взаимного влияния приводит к появлению литейных дефектов, число которых по разным оценкам составляет несколько десятков. Ряд литейных дефектов рассмотрен в других разделах этого учебника, далее предлагается систематический подход к этому вопросу.

17.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ

По классификации ГОСТ 19200—80 все литейные дефекты разделены на пять групп: 1) несоответствие по геометрии — 14 дефектов; 2) дефекты поверхности — 13 дефектов; 3) несплошности в теле отливки — 16 дефектов; 4) включения — 3 дефекта; 5) несоответствие по структуре — 4 дефекта.

17.1.1. Первая группа дефектов — несоответствие по геометрии

Вылом — дефект, аналогичный зарезу и возникающий при отламывании литника. Вылом возникает в местах примыкания к телу отливки толстого литникового хода, который приобретает достаточную прочность к моменту выбивки, поэтому при обрубке литников отливка разрушается. Для предотвращения этого дефекта поперек литникового хода вблизи его примыкания к отливке выполняют небольшое углубление в виде бороздки (пережим), являющееся концентратором напряжений и способствующее отделению литниковой системы по этому углублению.

Зарез — искажение наружной конфигурации отливки, возникающее в результате воздействия режущего инструмента при отрезке литников, обрубке или зачистке.

Незалив — несоответствие конфигурации отливки чертежу вследствие износа модели или недостаточной отделки формы. Износ моделей происходит медленно, а величина его малозаметна. В связи с этим брак появляется постепенно, установление его причин бывает затруднительным. Дефект может проявлять себя в виде «черноты» при механической обработке в тех случаях, когда из-

нос модели становится соизмерим с величиной припуска на механическую обработку.

Коробление — искажение конфигурации отливки под влиянием напряжений при охлаждении, а также от применения неправильной модели. Коробление проявляет себя в изогнутости протяженных отливок. Коробление возникает по различным причинам: от исходного деформирования модели или ее деформации при формовке; от температурных перепадов (неоднородности распределения температур) в ходе охлаждения отливки или деформации отливки при выбивке; от остаточных напряжений при механической обработке или в результате термической обработки.

Коробление не всегда обнаруживается визуально. У станочных отливок даже небольшая его величина, возникающая при механической обработке, может привести к выбраковыванию отливки.

Недолив образуется вследствие незаполнения полости литейной формы металлом при заливке, возникает как результат недостаточной жидкотекучести или из-за нехватки металла в ковше. Недолив по последней причине называют «грубым», чаще всего он возникает в индивидуальном производстве по причине неточного определения массы отливки. Дефект может появляться и в серийном производстве по халатности заливщиков, так как масса металла, заливаемого в форму, заранее известна и оговорена в технологической инструкции.

Неслитина — отверстие произвольной формы или сквозная щель, образующаяся в результате потери текучести металла при заливке. Данный дефект возникает, как правило, в тонких стенках или ребрах, а края отверстия имеют скругленную форму. Дефекту может сопутствовать недолив, что указывает на сходность причин его образования с неслитиной.

Обжим — нарушение конфигурации отливки, являющееся следствием деформации формы в результате ее механического повреждения при сборке или во время заливки.

Перекос — смещение (см. рис. 16.10) элементов отливки, находящихся в разных полуформах. Возникает вследствие неточного монтажа моделей на плитах, неточной сборки форм, например при износе штырей и втулок.

Подутость — местное утолщение тела отливки под действием давления металла в местах слабого уплотнения литейной формы; является следствием неравномерной плотности формы.

Прорыв металла — отливка неполной формы или отливка, имеющая наросты в результате разрушения непрочной формы металлом. Расплавленный металл затекает в трещины литейной формы, образуя на поверхности отливки гребни причудливой формы с шероховатой поверхностью.

Разностенность — увеличение или уменьшение толщины стенок отливки вследствие смещения, деформации или всплывания стержня.

Стержневой перекос — смещение отверстия, полости или части отливки, выполняемых стержнем, вследствие его неточной установки в знаках.

Стержневой залив — возникает на месте неустановленного или разрушившегося стержня.

Уход металла — пустота в теле отливки частично или полностью ограниченная тонкой коркой затвердевшего металла, образовавшейся в результате вытекания металла из формы. Является следствием слабого скрепления полуформ или прорыва металла через тонкую стенку формы.

Дефекты первой группы связаны с нарушением конфигурации отливки и обнаруживаются преимущественно при осмотре отливки без применения специальных средств контроля.

17.1.2. Вторая группа дефектов — дефекты поверхности

Газовая шероховатость — сферообразные углубления на поверхности отливки, возникающие вследствие роста газовых раковин на поверхности раздела металл—форма. Дефект чаще встречается на верхних поверхностях отливки и является следствием недостаточной газопроницаемости формы.

Грубая поверхность — шероховатая поверхность, характеризующаяся параметрами, превышающими допустимые значения. Дефект возникает в случае применения крупнодисперсных формовочных материалов или при слабом уплотнении смеси. В первом случае он имеет сплошной, а во втором — мозаичный характер.

Заливы — прилив или выступ на поверхности отливки от внедрения жидкого металла в зазоры по разъему формы, стержней или со стержневым знаком. Заливы всегда присутствуют по разъему формы и вокруг знаков стержней. Даже после зачистки и обрубки они хорошо видны на поверхности отливки. Заливы удаляют при помощи зубил или абразивных камней. При выборе разъема формы следует стремиться к расположению заливов в местах, удобных для обработки, и уменьшению их длины. Уменьшение высоты заливов достигается плотным смыканием полуформ и плотной установкой стержней в знаки.

Засор — формовочный материал, внедрившийся в поверхностный слой отливки вследствие захвата потоком жидкого металла. Причиной возникновения засоров является осыпавшаяся формовочная смесь, например, при сборке формы или смесь, смытая струей металла при заливке. Как правило, засор располагается в верхней части отливки.

Нарост — выступ произвольной формы, образующийся из загрязненного формовочными материалами металла вследствие местного разрушения литейной формы.

Окисление — окисленный слой металла на поверхности отливки, получившийся после термической обработки, например отжига отливок из белого чугуна на ковкий.

Плёна — самостоятельный металлический или окисленный слой на поверхности отливки, образующийся при неспокойной заливке. Дефект образуется чаще всего в отливках из сплавов, склонных к повышенному окислению, например алюминиевых или титановых. При заливке подобных плёнообразующих сплавов с повышенной скоростью происходит разрыв оксидной пленки потока. Образовавшиеся при этом плёны захватываются в полость формы.

Поверхностное повреждение — искажение поверхности отливки, возникшее при выбивке, транспортировке и очистке.

Пригар — трудно отделяемый специфический слой на поверхности отливки, образующийся вследствие физического и химического взаимодействия формовочных материалов с металлом и его окисления. Пригар чаще возникает на массивных отливках из сплавов с высокой температурой заливки, но может поражать и сравнительно небольшие отливки из сплавов, обладающих высокой текучестью.

Просечка — высокие гребешки на поверхности отливки, возникающие вследствие затекания металла в трещины формы или стержня. Трещины возникают вследствие термических напряжений в местах, подверженных более сильному нагреву, поэтому просечки образуются ближе к углам.

Складчатость — гладкие возвышения и углубления на поверхности отливки, возникающие вследствие пониженной текучести металла. По внешнему виду и причинам образования дефект весьма близок к спаю, но имеет большую плотность расположения складок (бороздок).

Спай — углубление с закругленными краями на поверхности отливки, образовавшееся в результате смыкания потоков металла с недостаточной текучестью. Спай наблюдается только с одной стороны стенки или проходит через всю ее толщину и дает течь при испытании на герметичность. Спай и неслитина (см. в первой группе дефектов) принадлежат разным группам дефектов, но возникают по одной причине — из-за снижения жидкотекучести потока металла, поэтому в отливке могут встречаться вместе.

Ужимина — углубление в отливке (см. рис. 15.16), заполненное формовочным материалом и покрытое слоем металла. Образуется вследствие отслоения формовочной смеси при заливке.

Дефекты второй группы обнаруживаются визуально.

17.1.3. Третья группа дефектов — несплошности в теле отливки

Вскип — скопление газовых раковин и наростов, образовавшееся вследствие интенсивного парообразования в местах переувлажнения литейной формы или внедрения газов из стержней.

Газовая пористость — мелкие поры, распределенные в теле отливки и образовавшиеся в результате выделения газов при затвердевании металла.

Газовая раковина — полость в отливке, образующаяся выделившимися из металла или проникшими в него газами. Газовые раковины имеют округлую окисленную поверхность, располагаются в отливке группами. В зависимости от интенсивности выделения газов, вида сплава и температурных условий размер их может достигать десятков миллиметров. Газовые раковины могут выходить на поверхность или скрываться под «коркой» и в теле отливки. Обнаруживают скрытые раковины радиационными, ультразвуковыми и другими методами.

Горячая трещина — разрыв или надрыв тела отливки усадочного происхождения, возникающий в интервале температур затвердевания. Дефект возникает в местах перехода сечения от тонкого к толстому и является следствием концентрации деформаций. Поверхность трещины неровная и окисленная, в ряде случаев видны дендриты.

Графитовая пористость — паукообразные выделения графита в отливках из СЧ, вызывающие неплотности при испытании гидравлическим или газовым давлением.

Залитый шлак — дефект, связанный с частичным заполнением литейной формы шлаком. В случае попадания в полость формы большого количества шлака он занимает верхнюю часть полости, предназначенную для заполнения металлом.

Межкристаллитная трещина — разрыв в теле отливки на границах первичных зерен аустенита в температурном интервале распада. Встречается только в отливках из железоуглеродистых сплавов.

Непровар жеребеек (холодильников) — несплошности в месте соединения металла отливки с поверхностью жеребеек вследствие их загрязнения или охлаждения металла.

Песчаная раковина — полость, частично или полностью заполненная формовочным материалом.

Рыхлота — скопление мелких усадочных раковин.

Ситовидная раковина — удлиненные тонкие раковины, ориентированные нормально поверхности отливки.

Утяжина — углубление плавной формы в утолщенных местах отливки. Дефект возникает в «теплых» местах, затвердевающих в последнюю очередь, например около питателей. По мнению про-

фессора Л. С. Константинова, дефект был известен литейщикам в древние времена, объяснявшим его происхождение некой силой, утянувшей металл вовнутрь. Отсюда и термин — «утяжина». С позиций физики дефект возможен только под действием увеличивающейся разности внешнего атмосферного давления и разрежения внутри отливки, которая возникает вследствие усадки металла при затвердевании.

Усадочная пористость — мелкие поры усадочного происхождения, распределенные в теле отливки. Усадочную пористость, а также газовую и графитовую пористость обнаруживают на изломах или микрошлифах при рассмотрении с помощью луп. На корпусных отливках пористость может быть обнаружена методами течеискания.

Усадочная раковина — открытая или закрытая полость с грубой шероховатой иногда окисленной поверхностью, образовавшаяся вследствие усадки при затвердевании металла. Отличительной особенностью усадочных раковин являются хорошо различимые дендриты на ее поверхности.

Холодная трещина — разрыв тела затвердевшей отливки вследствие внутренних напряжений или механического воздействия. Поверхность трещины зернистая светлая или с цветами побежалости.

Шлаковая раковина — полость, частично или полностью заполненная шлаком.

Шлаковая и песчаная раковины возникают в результате загрязнения потока расплава смытой формовочной смесью или шлаком из ковша. Располагаются эти дефекты преимущественно в верхней части отливки, так как всплывают в расплаве вследствие меньшей, чем у металла, плотности.

Для обнаружения ряда дефектов третьей группы применяют радиационные, ультразвуковые, капиллярные и другие методы.

17.1.4. Четвертая группа дефектов — включения

Королёк — металлический шарик из того же сплава, что и отливка, отдельно застывший и несплавившийся с ней. Корольки могут располагаться на поверхности отливки или внутри нее, быть полностью, окруженными металлом или с наличием газового пузырька. Корольки возникают в результате разбрызгивания металла при заливке и попадания застывших капелек в полость формы или литниковую систему.

Металлические включения — инородные металлические включения, имеющие поверхность раздела с отливкой.

Неметаллические включения — неметаллические частицы, попавшие в металл механическим путем или образовав-

шиеся в результате химического взаимодействия компонентов при расплавлении и заливке металла.

Для обнаружения включений этой группы применяют радиационные и ультразвуковые методы.

17.1.5. Пятая группа дефектов — несоответствие по структуре

Ликвация — местные скопления химических элементов или соединений в теле отливки, возникающие в результате избирательной кристаллизации и других причин.

Отбел — образование структурно-свободного цементита в отдельных местах отливки из серого чугуна. Отбел является весьма распространенным дефектом, практически не подлежащим исправлению. Главное затруднение заключается в невозможности механической обработки отбеленных отливок. При неглубоком отбеле его удается исправить отжигом отливок без существенного изменения основной структуры. Отбел в отливках контролируют по твердости, например, напильником или магнитными методами.

Половинчатость — появление структуры серого чугуна в отливках из белого.

Флокен — разрыв в теле стальной отливки, проходящий через объемы первичных зерен аустенита и образующийся под действием внутренних напряжений и под влиянием растворенного в стали водорода. Флокен в изломе термически обработанной отливки имеет вид сглаженных матовых поверхностей на общем сером фоне волокнистых составляющих.

Дефекты этой группы контролируют магнитными и металлографическими методами.

17.2. КОНТРОЛЬ И АТТЕСТАЦИЯ ТОЧНОСТИ ОТЛИВОК

Контроль точности отливок проводят на соответствие их параметров точности заданным нормам точности: классу точности размеров, степени коробления, степени точности поверхности, классу точности массы. Аттестация точности отливок — установление действительных значений параметров точности отливок и отнесение их к фактическому классу точности размеров (массы) по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.).

На все подлежащие контролю (аттестации) параметры на чертежах отливок или в других документах, касающихся контроля качества продукции, должны быть указаны номинальные значения и допускаемые отклонения в соответствии с ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) (на параметры шероховатости — в соответствии с ГОСТ 2789—73* и ГОСТ 25142—82).

17.2.1. Контроль точности

Контроль размеров отливок связан с их механической обработкой (разметка), а также с целью определения фактического класса точности размеров по результатам замеров по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.). Разметка отливок проводится на трех—пяти отливках от баз, которые совпадают с базами механической обработки, и позволяет определить достаточность припуска на обработку.

Действительный припуск колеблется от минимальной до максимальной величины.

В единичном и мелкосерийном производстве колебание припуска не имеет существенного значения, поскольку каждая деталь обрабатывается с индивидуальных настроек. При обработке отливок на поточных линиях или на обрабатывающих центрах, имеющих фиксированную настройку, может сниматься слой металла увеличенной в случае максимального или уменьшенной в случае минимального припуска толщины. В обоих случаях возможны повышенная нагрузка на режущий инструмент и его поломка, в первом случае из-за увеличенной толщины снимаемого слоя, во втором — из-за повышенных механических свойств «корки» с окалиной.

Причинами, по которым необходим контроль размеров, также являются: «плавание» бобышек на протяженных отливках в результате неравномерной по длине усадки отливок. Рекомендуется контролировать следующие показатели качества отливок:

- номинальные размеры от баз до обрабатываемых поверхностей;
- диаметры отверстий и расстояния между их осями;
- отклонения формы и расположения поверхностей;
- неровностность и шероховатость наиболее грубых поверхностей;
- массу отливок.

17.2.2. Методы и средства контроля

Контроль размеров в индивидуальном и серийном производстве различается методами и средствами его выполнения. В единичном производстве для этого применяется универсальный инструмент для измерения (мерительный инструмент), его выбор зависит от сложности отливки и необходимой точности измерений. Из данных, приведенных в табл. 17.1, следует, что применение микрометра и рулетки с ценой деления 1 мм обеспечивает одинаковую точность измерений, в первом случае — для небольшого размера, во втором — для протяженной отливки длиной 2 м. Для измерения малых размеров следует использовать штангенциркули с ценой деления 0,10...0,05 мм, а не линейки, которые не дают необходимой точности.

Таблица 17.1. **Относительная ошибка измерений при использовании различных инструментов**

Измеряемый размер, мм	Инструмент	Цена деления, мм	Относительная ошибка измерений, %
20	Микрометр	0,01	0,05
2000	Рулетка	1	0,05
20	Штангенциркуль	0,1	0,5
20	Линейка	1	5

Контроль размеров отливок сложной конфигурации в индивидуальном производстве совмещают с операцией разметки. Для этого используют разметочные плиты, штангенрейсмасы, призмы и подставки, угломеры, угольники, штангенциркули. В настоящее время могут применяться измерительные комплексы, которые представляют собой разметочную плиту со смонтированной на ней координатно-измерительной машиной, результаты измерений от которой поступают на ЭВМ.

Использование универсального мерительного инструмента сопряжено со снижением производительности, поэтому для контроля используют концевые меры длины, например калибры в виде скоб или пробок, шаблоны и т. п. Однако эти приспособления позволяют контролировать только один размер, на который они настроены. Если отливку контролируют по многим размерам, то используются специальные приспособления. В тех случаях, когда применение скоб (пробок) затруднено конфигурацией детали, для контроля отливок можно рекомендовать приспособление (рис. 17.1), состоящее из основания *7*, базовых поверхностей *2*, кронштейна *5* с датчиками размеров *4*, прижимов *1*, мнемосхемы *6*. Отливка *3* устанавливается на приспособление, фиксируется

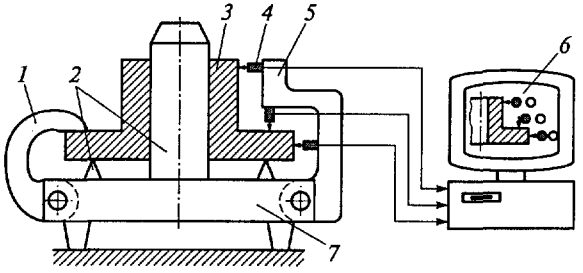


Рис. 17.1. Приспособление для контроля размеров отливок:

1 — прижим; *2* — базовые поверхности; *3* — отливка; *4* — датчик размера; *5* — кронштейн; *6* — мнемосхема; *7* — основание

прижимами, кронштейн приводится в рабочее положение. Результаты измерений отражаются на мнемосхеме.

В тех случаях, когда номенклатура контролируемых изделий не постоянна, следует применять переналаживаемые кондукторы, которые состоят из набора унифицированных деталей: колонки, соединенные элементы, призмы для базирования, элементы для крепления датчиков и т.д.

В массовом производстве выполнение контрольных операций сопряжено с большим объемом работ, что может привести к неоправданно большому штату контролеров и большому числу наименований контролируемой оснастки. Для решения этой проблемы существуют два пути. Первый — автоматизация операций контроля при сплошном контроле. Данный путь, позволяющий существенно повысить производительность труда, реализован для отливок простой конфигурации, таких, как, например, гильзы блока цилиндров, наружные размеры которых контролируют на проходных автоматах. Второй — выборочный контроль, применяемый в условиях стабильного технического процесса и предполагающий обязательное выполнение контрольных операций са-

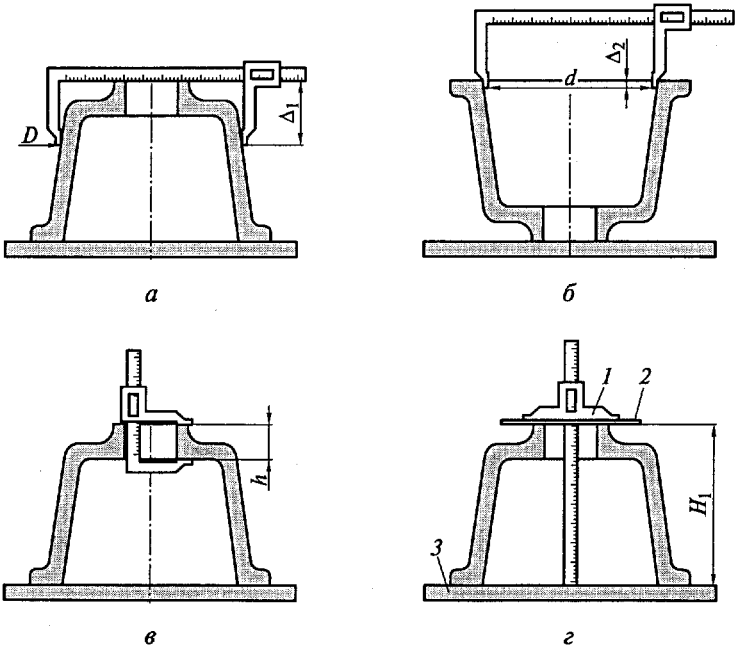


Рис. 17.2. Контроль размеров отливки тормозного барабана измерением наружного (*а*) и внутреннего (*б*) размеров, толщины (*в*) и глубины (*г*): *1* — глубиномер; *2* — пластина постоянной толщины; *3* — ровная плита; Δ_1 — постоянная высота, на которой контролируется внешний диаметр отливки; Δ_2 — то же, внутренний диаметр; H_1, h — контролируемые размеры отливки

мого процесса. Например: контроль температуры заливки, влажности смеси, плотности формы, температуры выбивки и др. Стабильность контролируемых параметров позволяет иметь стабильные размеры отливки, а следовательно, и распространять результаты контроля выборки на всю партию отливок.

Контроль (аттестацию) линейных размеров выполняют в местах, ориентированных относительно определенной части отливки (например, мест подвода металла) и исключающих влияние формовочных уклонов. Так, измерение внешнего диаметра D выполняется на постоянной высоте Δ_1, равной длине губок штангенциркуля (рис. 17.2, *а*). При измерении внутреннего диаметра d штангенциркуль устанавливают до упора уступов, равных их высоте Δ_2, на поверхность отливки (рис. 17.2, *б*). Измерение толщин h стенок отливок выполняется в одних и тех же точках (с ориентацией каждой отливки относительно подвода металла) при плотном контакте поверхностей штангенциркуля и отливки (рис. 17.2, *в*).

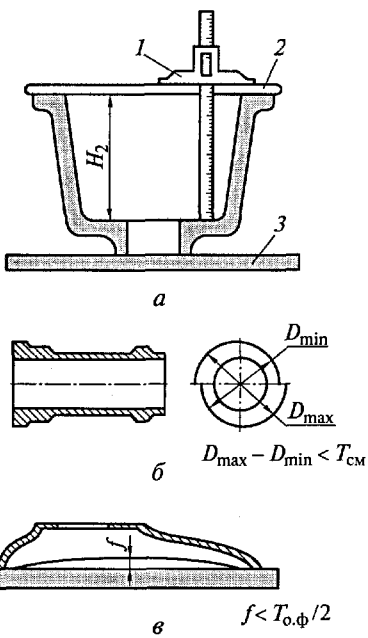


Рис. 17.3. Контрольные замеры отливки:

а — тормозной барабан; *б* — гильза; *в* — крышка; *1* — глубиномер; *2* — пластина; *3* — плита; D_{min}, D_{max} — минимальный и максимальный диаметры из-за смещения $T_{см}$; $T_{о.ф}$ — допуск формы и расположения; f — стрела прогиба

В измерениях должно быть исключено влияние отклонений формы и расположения поверхностей, а также неровностности поверхности. Для этого применяют специальные методы измерений. Примером экспериментального определения общего допуска может служить измерение высот H_1 и H_2, которое проводят с использованием ровной плиты *3*, пластины постоянной толщины *2* и глубиномера *1* (рис. 17.2, *г* и рис. 17.3, *а*). Измерение выполняют в трех наиболее удаленных одна от другой противоположных точках нормируемого участка на поверхности отливки для всей партии. При этом на измеряемые размеры оказывают влияние погрешности формы (искривление) поверхностей и расположения (непараллельность) поверхностей. При статистической обработке результатов всех измерений определяют общий допуск, включающий допуск размера, допуски формы и расположения поверхностей.

Контроль коробления осуществляют посредством измерения стрелы прогиба f с использованием ровной плиты по схеме, приведенной на рис. 17.3, *в*.

17.2.3. Определение объемов партии и выборки для проведения контроля точности размеров

После выбора контролируемых размеров, методов и средств контроля необходимо установить план выборочного (статистического) контроля. Объем партии, предъявляемый на контроль, выбирают исходя из условий производства и поставки. Основное требование к партии — однородность продукции (продукция должна быть изготовлена по возможности в одних и тех же производственных условиях, из сырья одной марки и т.д.). Объем выборки определяют в соответствии с ГОСТ 18321—73* (изм. № 1, 1985 г.) по табл. 17.2 [29].

В табл. 17.2 *AQL* — приемочный уровень дефектности, который для целей приемки продукции рассматривается как удовлетворительный и который устанавливают по соглашению между изготовителем и заказчиком, исходя из технико-экономических условий. По объему выборки и величине *AQL* из табл. 17.2 находят приемочное число *C* отливок в выборке, т.е. наибольшее допустимое количество дефектных отливок в выборке. Если $C = 0$, то в выборке не должно быть ни одной дефектной отливки. Отливка считается дефектной, если хотя бы один контролируемый размер (масса) выходит за пределы допуска указанного класса размерной точности на чертеже отливки.

Результат считается отрицательным, если число дефектных отливок больше табличных значений *C*. При отрицательных результатах контроля партия отливок, подлежащих контролю, удваивается, при этом удваивается число *C*. При повторном отрицательном результате партия бракуется или, по согласованию с заказчиком, используется сплошной контроль для сдачи годных отливок. Возможно также проведение аттестации выборки, т.е. опреде-

Таблица 17.2. **Приемочное число отливок *C* в выборке**

Объем сдаваемой партии, шт.	Объем выборки *n*, шт.	Приемочное число *C*, шт., в зависимости от уровня дефектности *AQL*, %	
		1,5	2,5
51—90	13	0	0
91—150	20	1	1
151—280	32	1	2
281—500	50	2	3
501—1200	80	3	5
1201—3200	125	5	7
3201—5000	200	7	9

ление фактического класса точности размеров и массы отливки и принятие партии, при согласии заказчика, по этому классу с корректировкой цены.

17.2.4. Пример проведения контроля

Необходимо проконтролировать партию отливок объемом 100 шт. по размеру 100 мм, который должен соответствовать 10 классу точности (КР10) с симметричным допуском 2,8 мм (±1,4 мм). При контроле выборки $n = 20$ обнаружены две дефектные отливки. В соответствии с табл. 17.2 результат считается отрицательным для уровня дефектности $AQL = 2{,}5\,\%$, так как приемочное число $C = 1$. Необходимо повторить контроль отливок при удвоенном числе отливок в партии.

17.2.5. Аттестация точности отливок

Аттестацию точности отливок можно проводить по той же выборке, которая была принята для контроля точности размеров. Последовательность действий, определяющая алгоритм решения задачи при аттестации, следующая.

1. Измеряют значение параметра X_i (размер, масса) на каждой i-й отливке выборки объемом n и получают ряд измерений $X_1, X_2, \ldots, X_n$.
2. Находят среднеарифметическое значение $\bar{X}$.
3. Вычисляют среднеквадратическое отклонение S параметра (размера, массы).
4. Находят верхнюю и нижнюю границы доверительного интервала рассеивания параметра:

верхняя граница

$$X_в = \bar{X} + tS;$$

нижняя граница

$$X_н = \bar{X} - tS,$$

где t — квантиль, соответствующая доверительной вероятности $P = 1 - AQL$ и объему выборки n и определяемая по табл. 17.3.

Таблица 17.3. **Значения квантили t**

Приемочный уровень дефектности AQL, %	Квантиль t при объеме выборки n, шт.						
	13	20	32	50	80	125	200
1,5	3,20	2,95	2,76	2,62	2,53	2,48	2,46
2,5	2,97	2,73	2,56	2,44	2,34	2,28	2,26

По табл. 16.12 подбирают такой наименьший класс точности размеров и массы, чтобы найденный доверительный интервал укладывался в поле допуска параметра, т.е. чтобы нижняя (верхняя) граница интервала была больше или равна (меньше или равна) наименьшему (наибольшему) отклонению размера по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.). Этот класс и принимается за фактический класс точности.

17.2.6. Аттестация и определение фактического класса точности размеров

Для аттестации класса точности размеров принята та же, что и в подразд. 17.2.5, партия отливок объемом 100 шт. по размеру 100 мм с выборкой $n = 20$ отливок и $AQL = 2{,}5\,\%$. После измерений всех 20 отливок выборки и обработки данных получены следующие результаты:

$$\bar{X} = 100{,}5 \text{ мм}, \quad S = 0{,}45 \text{ мм}.$$

Используя данные табл. 17.3 для $AQL = 2{,}5\,\%$, находим квантиль $t = 2{,}73$ и вычисляем границы доверительного интервала:

$$X_в = \bar{X} - tS = 100{,}5 - 2{,}73 \cdot 0{,}45 = 99{,}3 \text{ мм};$$

$$X_н = \bar{X} + tS = 100{,}5 + 2{,}73 \cdot 0{,}45 = 101{,}7 \text{ мм}.$$

При сравнении найденных границ с размером 100 мм и допусками для разных классов (см. табл. 16.12) установлено, что фактически рассматриваемый размер относится к классу размерной точности КР11т (рис. 17.4), несмотря на то, что по доверительному интервалу (±1,2 мм) он может быть отнесен к классу КР10, допуск по которому равен +1,4 мм. Причиной отнесения размера к более «грубому» классу (с меньшей точностью размеров) является систематическая погрешность, равная 0,5 мм, которая складывается с половиной доверительного интервала (1,2 мм), а полученная сумма (1,7 мм) сравнивается с половиной допуска (1,4 мм для КР10 и 1,8 мм для КР11т).

Систематическая погрешность может быть устранена корректировкой модельно-стержневой оснастки. В этом случае размер 100 мм будет соответствовать КР10 без вмешательства в технологический процесс изготовления отливки.

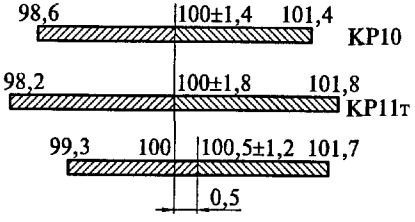


Рис. 17.4. Пример определения фактического класса точности размеров отливок:

КР10 и КР11т — класс точности размеров по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)

17.2.7. Корректировка модельно-стержневой оснастки

Установленная в предыдущем примере (подразд. 17.2.6) систематическая погрешность, равная 0,5 мм, может быть устранена уменьшением размера оснастки. При этом возможны следующие варианты.

Если рассматриваемый размер отливки является расстоянием между необрабатываемыми поверхностями, то соответствующий размер модельно-стержневой оснастки можно уменьшить на 0,5 мм. Отливки, изготовленные с использованием скорректированной таким образом оснастки, могут быть, очевидно, отнесены к более точному классу — КР10, так как допуск по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.), равный ±1,4 мм, будет больше доверительного интервала, равного ±1,2 мм.

Если рассматриваемый размер отливки является расстоянием между обрабатываемыми поверхностями, то соответствующий размер модельно-стержневой оснастки следует уменьшить на 0,4 мм, чтобы иметь запас, равный 20 % систематической погрешности, во избежание появления черноты при обработке отливки из-за погрешностей формы и расположения базовой и обрабатываемых поверхностей. Верхняя граница доверительного интервала размера отливки, изготовленной по скорректированной оснастке, будет равна: 100,5 – 0,4 + 1,2 = 101,3 мм, и точность размера может быть отнесена к классу КР10, в соответствии с которым наибольший допустимый размер равен: 100,0 + 1,4 = = 101,4 мм (см. рис. 17.4).

Появление систематической погрешности связано с неправильным назначением линейной усадки отливки при проектировании модельно-стержневой оснастки. В рассматриваемом примере линейная усадка отливки на размере 100 мм при проектировании была принята равной 0,5 %, а сам размер оснастки составил 100,5 мм. Действительный средний размер отливки оказался равным также 100,5 мм. Следовательно, действительная линейная усадка отливки на рассматриваемом размере оказалась равной 0 %.

Линейная усадка отливки зависит не только от линейной усадки сплава, но и от взаимодействия сплава с формой, в частности от расширения литейной формы, движения стенок формы под действием давления металла и т.д. В пакете прикладных программ ППП ТОТЛ-1 используются зависимости действительной линейной усадки отливки от номинального значения рассматриваемого размера, как, например, в подразд. 15.15, а также от того, образован он формой или стержнем, является он внешним (охватываемым формой или стержнем) или внутренним (охватывающим форму, стержень) и т.д. Поэтому использование ППП ТОТЛ-1 позволит уменьшить затраты на доводку оснастки и получить экономию жидкого металла.

17.3. КОНТРОЛЬ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ

Необходимость контроля чистоты поверхности отливок обусловлена следующими основными признаками:

- заданный товарный вид изделия, который в значительной степени зависит от состояния поверхности;
- снижение концентрации напряжений на гладкой поверхности — большие микронеровности (0,4...0,5 мм) являются концентраторами напряжений, вблизи которых возникают микротрещины, увеличивающиеся в размерах в процессе эксплуатации;
- повышение качества окрашивания отливок и снижение расхода краски — на шероховатой поверхности удерживается более толстый слой краски за счет капиллярных сил, кроме того, около больших микронеровностей краска удерживается слабо, в результате в этих местах возможно ее отслоение;
- недопустимость пригара, особенно на внутренних поверхностях картерных отливок (отслоение пригара в процессе эксплуатации приводит к преждевременному абразивному износу узлов).

Для контроля чистоты поверхности используют профилографы, профилометры и эталоны.

Профилографы наряду с измерением высоты микронеровностей позволяют фиксировать их профиль. Приборы эти дорогие, применяют их в исследованиях, например, при подборе формовочной смеси, так как форма зерна влияет на микронеровности. Профилограммы снимают в случае получения уникальных отливок, технические условия на которые требуют представления профиля микронеровностей, или на стадии обработки технологического процесса при подборе формовочных материалов.

Профилометры используют чаще, чем профилографы, и для широкой номенклатуры отливок. Известны пьезоэлектрические, пневматические и оптические профилометры с прямым и косвенным измерением микронеровностей. В пьезоэлектрическом профилометре (рис. 17.5) образец *1*, установленный на каретке *2*,

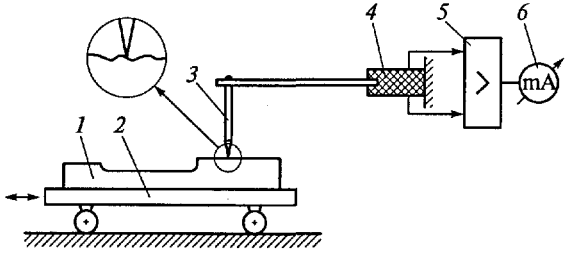


Рис. 17.5. Пьезоэлектрический профилометр:
1 — образец; *2* — каретка; *3* — игла; *4* — пьезоэлемент; *5* — усилитель; *6* — фиксирующий прибор

перемещают относительно иглы *3*, которая скользит по поверхности образца и от соприкосновения с микронеровностями колеблется. Колебания иглы преобразуются с помощью пьезоэлемента *4* в пропорциональный высотам микронеровностей электрический сигнал, который усиливается в блоке *5* и фиксируется прибором *6*. Профилометры бывают стационарными и переносными. На стационарных профилометрах измеряют небольшие отливки или специально отлитые образцы, а переносные можно использовать в цеховых условиях для отливок любых размеров.

Работа пневматических профилометров основана на пропускании воздуха в зазор (поры) между зеркальной поверхностью колпака и шероховатой поверхностью отливки. Чем выше микронеровности на отливке, тем больше величина зазора, а следовательно, и расход воздуха. Измерения на данном приборе сводятся к прикладыванию измерительного колпачка со шлангом к поверхности отливки, при этом следят за показаниями расходомера.

Измерения с помощью оптического профилометра (микроскопа Линника) занимают много времени и редко применяются литейщиками.

Контроль по эталонам наиболее универсален, поскольку не требует разрушения отливки и применения сложных приборов. Эталоны представляют собой набор пластин с разной чистотой поверхности. Высоты микронеровностей в каждом случае измерены и нанесены на обратной стороне эталона. Контроль по эталонам заключается в сравнении поверхности отливок с эталонами и подборе наиболее соответствующего из них, характеристики которого и присваивают отливке. Сравнение проводят в условиях необходимой освещенности контролируемого места и эталонов от бокового светового луча, направляемого к поверхности под углом 45°.

17.4. КОНТРОЛЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Контроль химического состава сплавов особенно актуален по ходу плавки, поскольку его результаты используются для корректировки состава, тем самым данная категория брака исключается практически полностью. Существенную роль играет время проведения анализа, которое должно быть по возможности минимальным. Многие годы литейщики пользовались технологическими пробами, например клиновой, дающими весьма приближенное представление о химическом составе. Химический анализ дает точные результаты, но трудоемок и длителен. В последние десятилетия разработаны экспрессные методы контроля химического состава, обеспечивающие высокую точность получае-

мых результатов. Из большого числа этих методов в литейном производстве применение нашли термографический метод, метод термо-ЭДС, химический по анализу состава газов и спектральный.

17.4.1. Термографический контроль углеродного эквивалента

Метод термографического контроля, основанный на зависимости состава сплава от значений температур ликвидуса и солидуса, нашел применение в основном при контроле чугунов доэвтектического и эвтектического состава. В связи с тем, что чугуны — это сложные сплавы, в состав которых наряду с железом и углеродом входят кремний, марганец, фосфор, сера и ряд других элементов, влияющих на положение линий ликвидуса и солидуса на диаграмме состояния, совместное влияние всех перечисленных компонентов сплава учитывается углеродным эквивалентом $C_{экв}$, для вычисления которого служат многочисленные уравнения, отражающие влияние многих компонентов чугуна. На практике для вычисления $C_{экв}$ ограничиваются учетом зависимости от содержания углерода, кремния и фосфора, а в ряде случаев (например, для чугунов с низким содержанием фосфора) только углерода и кремния. Углеродный эквивалент используют при составлении уравнений для вычислений температур ликвидуса ($T_л$) и солидуса ($T_с$). На решении таких уравнений основан термографический метод, при котором экспериментально, по результатам записи кривых охлаждения сплавов, определяют $T_л$ и $T_с$. Следует помнить, что величины коэффициентов уравнений регрессии зависят от конструкции формы, в которой отливают образец, и типа сплава. Для формы, показанной на рис. 17.6, *в*, при литье серых чугунов уравнения регрессии имеют вид

$$T_л = 1647 - 118{,}2(\mathrm{C} + 0{,}25\mathrm{Si} + 0{,}5\mathrm{P}); \qquad (17.1)$$

$$T_с = 1138 - 6{,}4(\mathrm{Si} + 4\mathrm{P}); \qquad (17.2)$$

$$\mathrm{C} = -5{,}86 - 0{,}00819T_л + 0{,}017T_с. \qquad (17.3)$$

Уравнения (17.1)—(17.3) образуют систему из трех уравнений с тремя неизвестными (содержание C, Si и P). Значения $T_л$ и $T_с$ находятся при анализе. Решение системы позволяет найти содержание исходных компонентов.

Запись кривых охлаждения проводится на цилиндрических образцах, отливаемых в разовые формы, конструкции которых показаны на рис. 17.6, *а*—*в*. Форму *1*, как правило, изготовляют из термореактивной смеси. Для измерения температуры в форме размещена термопара *2*. По схеме (см. рис. 17.6, *а*) она помещена в

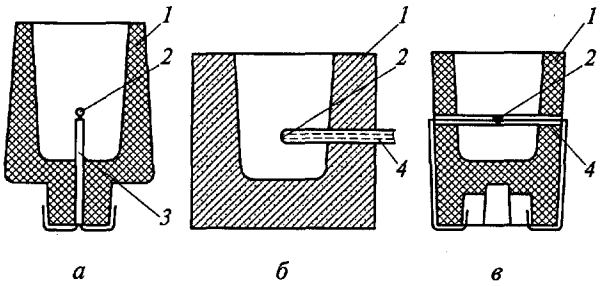


Рис. 17.6. Формы с термопарами для заливки образцов в термографическом методе:

а, б, в — варианты размещения термопары; *1* — форма; *2* — спай термопары; *3* — керамическая трубка; *4* — чехол из плавленого кварца

керамическую трубку *3*; спай и внутренняя поверхность формы окрашены термостойкой краской. В схемах на рис. 17.6, *б* и *в* термопара защищена чехлом *4* из плавленого кварца. Термопара соединена с самописцем, записывающим кривую охлаждения. Прибор для термографического анализа состоит из самописца, формы и штатива для ее установки. Располагают прибор чаще всего на плавильном участке в непосредственной близости от печей. Для анализа плавильщик специальной ложкой отбирает из печи порцию расплава и заливает его в форму. Самописец прибора чертит кривую охлаждения, фиксируя $T_л$ и $T_с$.

Современные термографические устройства снабжены микропроцессорами, фиксирующими температуры ликвидуса и солидуса, а также выполняющими расчет по уравнениям регрессии.

17.4.2. Спектральный контроль

Первые эмиссионные спектрометры прямого считывания (квантометры) для нужд литейного производства появились в странах Западной Европы в начале 1960-х гг. За более чем 40 лет практического использования квантометры в литейных цехах зарекомендовали себя как надежные и эффективные технические средства для выполнения химического анализа сплавов по ходу плавки. В качестве примера рассмотрим организацию контроля химического состава металла в чугунолитейном цехе ВАЗа.

Квантометр является точным прибором, поэтому в помещении металлургической лаборатории он установлен в отдельной комнате с кондиционируемой атмосферой. В соседней комнате расположен пункт подготовки образцов, куда проведена трасса пневмопочты от плавильного участка. Пробу из плавильной печи отбирают в медный тигель, из которой далее получают плоский образец для анализа химического состава на квантометре и прово-

лочные образцы для определения содержания углерода и серы методом сжигания в кислороде. После охлаждения образцы легко отбивают от литниковой чаши, укладывают вместе с бланком для результатов анализа в патрон пневмопочты, которым они доставляются на пункт подготовки образцов. При взятии пробы плавильщик заполняет бланк, в котором указывает номер плавки, дату и время ее проведения. Подготовка образца для квинтометра сводится к зачистке одной из его плоских поверхностей на полировальном станке с горизонтальными дисками. Подготовленный образец вместе с бланком передается на анализ. Анализ химического состава занимает не более 1 мин, за это время на экран дисплея или на бумагу выводятся результаты анализа.

Результаты анализа передают на плавильный участок по селектору, а затем заносят в бланк и возвращают пневмопочтой. Полное время на анализ от момента взятия пробы и до получения результатов составляет 5...10 мин.

17.5. КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

Герметичность контролируют у отливок, работающих под избыточным давлением. К числу таких отливок относятся корпусы насосов, задвижек и кранов, детали двигателей внутреннего сгорания, отливки для судостроения, авиации, космонавтики и атомной энергетики. Задачей контроля на герметичность является установление факта наличия или отсутствия течи в отливке, поэтому данные методы контроля называют «течеисканием».

Методы течеискания основаны на создании избыточного давления агента во внутренней полости отливки и последующем наблюдении за его изменением (в случае течи агент появляется на наружной стенке). Схема установки для контроля показана на рис. 17.7. Отливку *1* через уплотнение *4* с помощью силового механизма *2* прижимают к основанию *5*. В основание под давлением по трубопроводу *8* подают агент (жидкость или газ). Давление агента измеря-

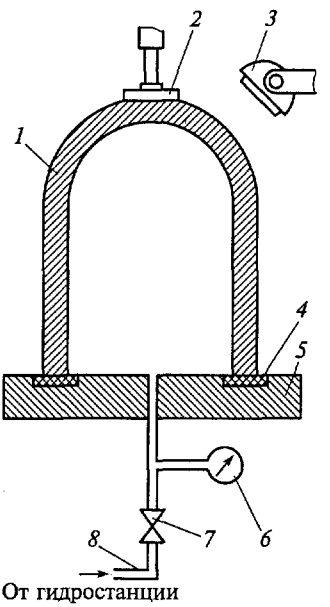


Рис. 17.7. Установка для контроля герметичности:

1 — отливка; *2* — силовой механизм; *3* — лампа; *4* — уплотнение; *5* — основание; *6* — манометр; *7* — кран; *8* — трубопровод

ют манометром *6*, кран *7* служит для отсечки давления. Наружную поверхность отливки освещают лампой *3*. После закачивания в полость отливки агента и отсечки магистрали давление внутри за счет естественных утечек снижается с определенной скоростью. Если скорость падения давления превышает заданную величину, то в отливке имеется течь, координаты которой определяют по месту появления агента снаружи отливки.

В качестве агента используют жидкости и газы, выбор которых связан с условиями службы отливки. Отливки, используемые в гидротехнических устройствах, контролируют водой или керосином. Последний обладает большей проникающей способностью, однако в отличие от воды образует жирные пятна в местах течи, которые трудно различимы на литой поверхности. Для лучшего распознавания керосиновой течи поверхность отливки окрашивают меловым или глинистым составом. После высыхания поверхность отливки приобретает равномерную светлую окраску, керосиновые пятна на которой становятся хорошо заметными.

Головку блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания проверяют водой при давлении в водопроводной сети (0,3...0,4 МПа). Воду подают в полости рубашки охлаждения и ведут наружное наблюдение за поверхностью. Головка блока цилиндров имеет сложную конфигурацию, и тонкие стенки часто оказываются пораженными дефектами в виде спаев и неслитин. Данные дефекты обнаруживают себя, на поверхности появляются течи воды. Вода протекает через места внутренних дефектов.

Корпусы вентилей контролируют, используя воду и давление в 1,5—2 раза больше рабочего (12...20 МПа). Прикладывая начальное давление, следят в течение 10...15 мин за его падением, которое должно составлять 10 % от начального. В качестве агента чаще применяют воду, подкрашенную люминофором. Отливку освещают ультрафиолетом, что облегчает обнаружение течи.

Для особо ответственных отливок, в том числе работающих в вакууме, в качестве агента используют инертный газ, который, имея малую вязкость, хорошо проникает через поры. Визуально обнаружить течь газа невозможно, поэтому применяют щупы газоанализаторов, которые перемещают над поверхностью отливки, и следят за показанием измерительного прибора, например за стрелками миллиамперметра. Место течи помечают, а для детального обследования микродефектов применяют лупу.

17.6. КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ

Применяемые методы измерения температуры подразделяют на прямые и косвенные. К прямым методам измерения температуры относятся контактные, осуществляемые с помощью термо-

метров, термопар и термометров сопротивления. Косвенные (бесконтактные) методы измерения температуры осуществляются оптическими, яркостными и радиационными пирометрами. Область литейного производства охватывает почти все применяемые методы контроля температуры, однако наибольшее распространении получили термопары и пирометры.

Номенклатура применяемых в литейном производстве термопар достаточно широка, однако все их можно подразделить на три группы: первая — термопары из неблагородных металлов, вторая — из благородных металлов, третья – высокотемпературные термопары.

Термопары первой группы наиболее распространены в промышленности, в основном в силу своей дешевизны, сравнительно высокой точности и воспроизводимости результатов. К числу таких термопар относятся: медьконстантановая (МК, диапазон измеряемых температур 200...350 °С), железоконстантановая (ЖК, 0...800 °С), хромель-алюмелевая (ХА, 200...1000 °С), хромель-константановая (ХК, 200...1000 °С). Наиболее точной среди названных является МК-термопара. В то же время ЖК-термопары дешевы, чувствительны, надежны, мало окисляются, верхний предел измеряемой ими температуры в восстановительной атмосфере достигает 950 °С. Срок службы ЖК-термопар достигает 1000 ч. ХА-термопары имеют самый широкий диапазон рабочих температур, наиболее устойчивы к окислению, имеют линейную зависимость в диапазоне температур 0...1000 °С. Срок службы ХА-термопар зависит от температуры и составляет более 1000 ч при 1000 °С, 200 ч при 1100 °С и всего несколько часов при 1200 °С.

Термопары из благородных металлов обладают наибольшей точностью, стабильностью и воспроизводимостью. Высокий уровень названных свойств объясняется химической инертностью материала термоэлектродов и высокой степенью чистоты и однородности. Термопары этой группы применимы для измерения высоких температур, вплоть до 2000 °С. Самое широкое распространение получили сплавы платины с родием — платинородиевые термопары (ПР). Градуированные характеристики ПР-термопар зависят от содержания родия в сплаве, при содержании родия 6...40 % термо-ЭДС вырабатывается при температуре выше 200 °С, а верхний предел составляет 1800 °С. У платина-платинородиевых термопар один термоэлектрод выполнен из чистой платины, а другой содержит 10 % или 13 % родия. Такие термопары имеют градуировку от 0 до 1600 °С.

Верхний предел высокотемпературных термопар достигает 3000 °С. Термоэлектроды таких термопар изготовляют из вольфрама, молибдена, рения или сплавов этих металлов. Данные термопары не обладают высокой стабильностью из-за наличия в них примесей, процентное содержание которых может достигать 1 %.

Вольфрамрениевые термопары (ВР-термопары) наиболее удачные в этой группе, они обладают высоким значением рабочих температур — до 3000 °С. Этот верхний предел достигается в случае применения оголенных термоэлектродов, так как уже при температуре 2400 °С керамическая изоляция шунтирует термопару. Вольфраммолибденовая термопара (ВМ-термопара) недорога, работает в восстановительных атмосферах, однако при длительной эксплуатации проволока охрупчивается, вблизи 1200 °С термопара меняет полярность.

В литейной практике применяют пирометры трех типов: яркостные, цветовые, радиационные. Каждый из названных пирометров действует по своему принципу, основанному на действии определенного закона. Остановимся на этом подробнее.

Яркостные пирометры в своем классическом варианте служат для измерения температуры, при которой тело испускает видимое излучение, светится. Пределы измеренных температур от 800 до 2400 °С, точность измерения ±(2...3) %. В практическом контроле нашли широкое применение яркостные пирометры ОППИР-09, ОППИР-017, ИКМ-10 и «Проминь», которые применяют для контроля температуры металла в ковшах или индукционных печах. Следует иметь в виду, что находящийся на поверхности металла шлак и излучение футеровки, находящейся выше уровня металла, вносят погрешность в связи с различными коэффициентами черноты излучения. Однако данная погрешность является систематической и может быть учтена в каждом конкретном случае.

Отечественные цветовые пирометры ЦЭП-3М и ЦЭП-4 работают в красном и синем диапазонах длин волн. Комплект приборов состоит из датчика (головки пирометра), электронного блока и показывающего или регистрирующего прибора (самописца). В качестве приемника излучения используется фотоэлемент, установленный в головке пирометра. Электронный блок автоматически осуществляет логарифмирование сигналов, получаемых от фотоэлемента. Для удаления пыли и дыма из поля зрения объектива на нем смонтирована бленда, в которую подается сжатый воздух. Пределы измерения температуры составляют 1400...2000 °С. Вся шкала разбита на поддиапазоны с интервалами 200...400 °С. Предельная ошибка измерения цветовой температуры при 2000 °С равна ±1,5 %.

В последнее время все большее распространение получают радиационные пирометры, у которых нижний предел измеряемой температуры составляет 20...50 °С. Радиационные пирометры измеряют полный лучистый поток по всем длинам волн. Приемниками излучения служат термопары, одиночные или собранные в термобатареи термосопротивления и полупроводниковые пироэлектрические детекторы. Поскольку различные материалы неодинаково пропускают тепловое и световое излучение, то для повышения точности измерений радиационные пирометры выпус-

кают со сменной оптикой, работающей в различных температурных диапазонах. В диапазоне температур 20...500 °С используются объективы из фтористого лития или фтористого бария. Кварц применяют в диапазоне 400...900 °С, при температуре выше 900 °С применяют оптическое стекло.

Из числа отечественных радиационных пирометров наиболее известен прибор марки РАПИР, позволяющий производить измерение температур от 100 до 2500 °С, погрешность измерений ±8 °С, инерционность не более 0,5 °С. Зарубежные образцы радиационных пирометров (в основном США и Японии) отличаются меньшей погрешностью (±1 °С) и порогом чувствительности ±0,1 °С. Кроме того, они снабжены цифровыми индикаторами температуры, встроенными микропроцессорами, реализующими запоминание средней, максимальной или минимальной температуры за время измерений, коррекцию излучательной способности, автокалибровку прибора и другие функции.

Поскольку детекторы радиационных пирометров чувствительны к широкому диапазону длин волн, фоновое излучение может вносить существенную погрешность в результаты измерений. Здесь также уместно упомянуть о поглощении инфракрасного излучения атмосферой, разделяющей нагретое тело и детектор. Инфракрасное излучение может поглощаться или рассеиваться. Погрешность в показаниях радиационных пирометров по этой причине велика. Так, например, присутствие в атмосфере печи 2...8 % CO_2 снижает показания пирометра в среднем на 10 °С. Такую же погрешность дает присутствие пыли в атмосфере литейного цеха. Дым, выделяющийся из формы или при модифицировании, снижает показания на 100 °С.

Разработана система непрерывного измерения и контроля температуры жидкого металла, которая монтируется на плавильных печах, миксерах и разливочных устройствах непрерывного действия для чугуна. Интервал измеряемой температуры 700... 1700 °С, точность измерений 1 %. Система состоит из световода головки пирометра и электронного блока. Одним концом световод соприкасается с расплавленным металлом, к другому подсоединена головка пирометра. Стержень заделан в футеровку с помощью специальной обмазки, обеспечивающей надежную герметизацию. Головка к стержню подсоединена через защитный кожух, куда подводится сжатый воздух для охлаждения стержня. Электронный блок связан с головкой кабелем, что обеспечивает возможность установки блока в любом удобном месте, например на пульте плавильной печи. Блок имеет цифровой индикатор температуры и печатающее устройство, фиксирующее в определенные моменты времени результаты измерений на бумажной ленте. Основным достоинством систем со световодами является то, что они полностью исключают влияние фонового излучения.

ГЛАВА 18

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

В данной главе рассматриваются вопросы проектирования технологического процесса изготовления отливок в песчано-глинистые формы. В результате проектирования разрабатываются графическая часть проекта и пояснительная записка. В свою очередь, графическая часть проекта технологического процесса изготовления отливок включает в себя: 1) чертеж отливки; 2) чертеж технологии литейной формы; 3) чертежи модельных комплектов. Роль пояснительной записки в цехе выполняют следующие документы: 1) технологическая карта; 2) маршрутная карта; 3) операционная карта.

Остановимся на всех перечисленных документах подробнее.

Чертеж отливки. Этот документ является обязательным, поскольку по чертежу проводятся приемка готовых отливок ОТК или заказчиком, а также их сертификация. Чертеж отливки с техническими требованиями должен содержать все данные, необходимые для изготовления, контроля и приемки отливки. Чертеж выполняется согласно ГОСТ 3.1125—88 (см. далее подразд. 18.1). В единичном и мелкосерийном производствах обычно пользуются чертежом детали, на который наносят технологию литейной формы. Чертеж отливки в этом случае не разрабатывают. По ГОСТ 3.1125—88 допускается также выполнять чертеж отливки на копии чертежа детали.

Чертеж технологии литейной формы. Документами, на основании которых изготовляется модельно-стержневая оснастка в единичном и мелкосерийном производствах, являются чертеж литейной формы в сборе или чертеж детали с нанесенной технологией. Разрабатывается подробный чертеж с элементами литниковой системы или схема технологической проработки без элементов литниковой системы. Чертеж выполняется согласно ГОСТ 3.1125—88 (см. далее подразд. 18.1).

На основании чертежей отливки и технологии литейной формы технолог-литейщик подготовляет техническое задание на изготовление модельного комплекта. В техническое задание входят собственно чертежи отливки и технологии литейной формы, а также эскиз модельной плиты с размещенными на ней моделями и трассировкой элементов литниковой системы. Все сечения элементов литниковой системы при этом должны быть рассчитаны

или взяты по аналогии. Выполняется также эскиз размещения стержней в стержневом ящике с указанием места вдувных отверстий и способа вентиляции ящика (венты или через надувную плиту), с указанием диаметра, числа вдувных отверстий, суммарной площади вент и их числа. Для выполнения исполнительных размеров модельно-стержневой оснастки технолог должен указать величину усадки. В единичном и мелкосерийном производстве, когда модельная оснастка деревянная, технолог указывает усадку в процентах. В массовом производстве технолог или конструктор-модельщик рассчитывает размеры модели, при этом обязателен ее чертеж. Как правило, принимается разная усадка в разных направлениях или для разных размеров.

Чертежи модельных комплектов. В единичном и мелкосерийном производстве модельно-стержневую оснастку изготовляет модельщик по чертежу детали с нанесенной технологией.

Чертежи модельных комплектов выполняются только в массовом производстве и включают в себя: для опочной формовки — модельные плиты с моделями и элементами литниковой системы низа, верха; для безопочной формовки — модельные плиты с элементами литниковой системы для прессовой и поворотной плит (например, АФЛ типа «DISA»). В комплект также входят чертежи стержневых ящиков для конкретной отливки. Чертежи модельных комплектов разрабатываются конструкторами технологической оснастки с учетом требований Единого стандарта конструкторской документации (ЕСКД). На основании этих чертежей модельные комплекты изготовляют в модельном цехе. Следует отметить, что разграничение обязанностей между технологом-литейщиком и конструктором технологической оснастки по проектированию технологического процесса изготовления отливок на заводах различно и во многом зависит от сложившихся традиций, наличия квалифицированных технологов, конструкторов и т. п. Часто с этим сопряжено необоснованное увеличение времени на процесс проектирования из-за необходимости согласования всех этапов работы. С появлением компьютерного проектирования долевое участие технолога в работе на стадии проектирования может увеличиться.

Технологическая карта. Выбор технологического оборудования по всем переделам и установление режимов работы представлены в технологической карте, в которой отражены данные о модельном комплекте и о технологиях плавки, смесеприготовления, изготовления формы и стержней, сборки форм, заливки и финишных операций. Также в ней отражены результаты технологических расчетов, перечень которых зависит от серийности производства: расчет допусков и припусков по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) (см. подразд. 16.13 и 16.14); расчет литниковых систем и прибылей (см. гл. 13); расчет времени охлаждения отливок до температуры

выбивки (см. гл. 12); расчет освежения формовочных смесей (см. гл. 3); расчет груза (см. подразд. 15.2); расчет шихты [41].

Маршрутная карта. В этом документе укрупненно отражены маршруты технологических процессов по переделам, например изготовление литейной формы, стержней и т.п.

Операционная карта. Последовательность технологических операций на конкретном технологическом оборудовании, например на встряхивающей формовочной машине, отражена в цеховом документе, имеющем название «операционная карта».

18.1. РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖА ОТЛИВКИ

При получении чертежа детали технолог проводит оценку технологичности и дает заключение о возможности изготовления данного литого изделия в литейном цехе (см. подробнее гл. 2).

Если возникают разногласия по технологическим параметрам или по конфигурационной сложности отливки, он заполняет карту технологичности, в которой указывает свои замечания и предложения по изменениям. Эти изменения согласовываются с конструктором.

После принятия решения об изготовлении отливки в данном литейном цехе практически только для массового производства разрабатывается чертеж отливки. При разработке чертежа отливки необходимо определить положение отливки в форме, выбрать плоскость разъема (см. подразд. 18.2) и место подвода металла, определить черновые базы механической обработки, точность отливки, припуски на механическую обработку, отверстия, которые получаются в литье, назначить радиусы сопряжения, литейные радиусы, литейные (формовочные) уклоны.

18.1.1. Выбор баз механической обработки

На чертеже детали должны присутствовать базы черновой обработки. К сожалению, часто такая информация на чертежах детали отсутствует, хотя без нее припуски на механическую обработку по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) назначить нельзя. Ниже приводится алгоритм, используя который, технолог-литейщик сам может назначить черновые базы.

При выборе баз механической обработки предлагается использовать методику, изложенную в работе [42]. На чертеже детали буквами помечают поверхности, на которые необходимо назначить припуски на обработку. Базы механической обработки следует определять отдельно для плоских поверхностей и для поверхностей вращения.

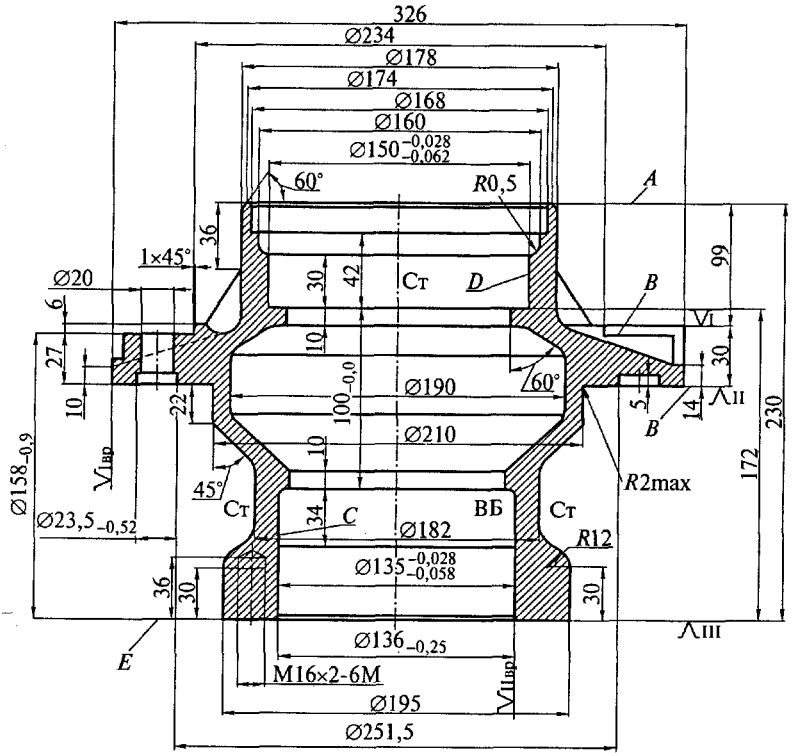


Рис. 18.1. Выбор баз механической обработки на чертеже детали:
A, *B*, *C*, *D*, *E* — обрабатываемые поверхности; Ст — стержень; ВБ — встречный болван

Определение баз механической обработки плоских поверхностей (на рис. 18.1 поверхности *A*, *B*, *E*) выполняют в следующем порядке.

Во-первых, на чертеже детали находят конструкторскую базу для плоских поверхностей). Конструкторская база — это поверхность, относительно которой изделие базируется в узле.

Признаки конструкторской базы — данная поверхность на чертеже детали координирована с другими поверхностями большим числом размерных связей; для данной поверхности указаны более высокие требования к точности размеров, выходящих на нее, к допускам формы и чистоте поверхности (поверхность фланца *B*).

Во-вторых, определяют поверхность, которую можно использовать в качестве черновой базы для назначения припуска на поверхность, обозначенную конструкторской базой. Выбор поверхности проводят из числа поверхностей, *координированных* с конструкторской базой размерными связями в порядке возрастания

их номинальных размеров. На выбранную поверхность ставят знак базы — ∇_1. В рассматриваемом на рис. 18.1 случае это противоположная поверхность фланца *B*.

В-третьих, принимают в качестве базы механической обработки конструкторскую базу (поверхность *B*), при этом следует также поставить знак ∇_{II}.

Наконец, проверяют, все ли поверхности можно обработать относительно найденных баз. Если имеется поверхность, которую нельзя обработать от найденных баз, то для нее определяют базу механической обработки из числа поверхностей, координированных с ней размерными связями в порядке возрастания их номинальных размеров, и ставят знак ∇_{III} (в нашем случае для внутренней поверхности, координированной размером 172 мм, выбираем в качестве третьей базы поверхность *E*, которая обозначается также знаком ∇_{III}).

Аналогично находят черновые базы $\nabla_{Iвр}$ и $\nabla_{IIвр}$ для поверхностей вращения (на рис. 18.1 поверхности *D*, *C*).

18.1.2. Определение допусков и припусков на механическую обработку

После выбора плоскости разъема и решения вопроса о формировании внутренних и внешних поверхностей необходимо выполнить определение допусков и припусков на механическую обработку по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.). Ниже на примере детали ступицы заднего колеса автомобиля марки ЗИЛ-130 (рис. 18.2, *а*) приведен расчет допусков и припусков на обработку.

Исходные данные: материал — КЧ35-10, наибольший габаритный размер 326 мм, масса 22 кг, сложность отливки — средняя, термическая обработка — графитизирующий отжиг, способ литья — в сырые песчано-глинистые формы из смеси с влажностью 3,5...4,5 %, прочностью 0,06...0,12 Н/мм^2 и твердостью не ниже 70 ед. Уровень механизации — машинное поточно-механизированное производство, культура производства — средняя. Технический уровень технологии механической обработки — средний (см. в ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) прил. 7, табл. 15).

Назначение точностных параметров отливки и соответствующих им допусков и припусков следует проводить в следующем порядке.

1. По ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) (см. в стандарте прил. 1, табл. 9) для заданного технологического процесса, габаритного размера 326 мм и сплава КЧ35-10, подвергаемого термической обработке, находим интервал классов точности размеров КР 9—13. Согласно примечанию принимаем КР 11.

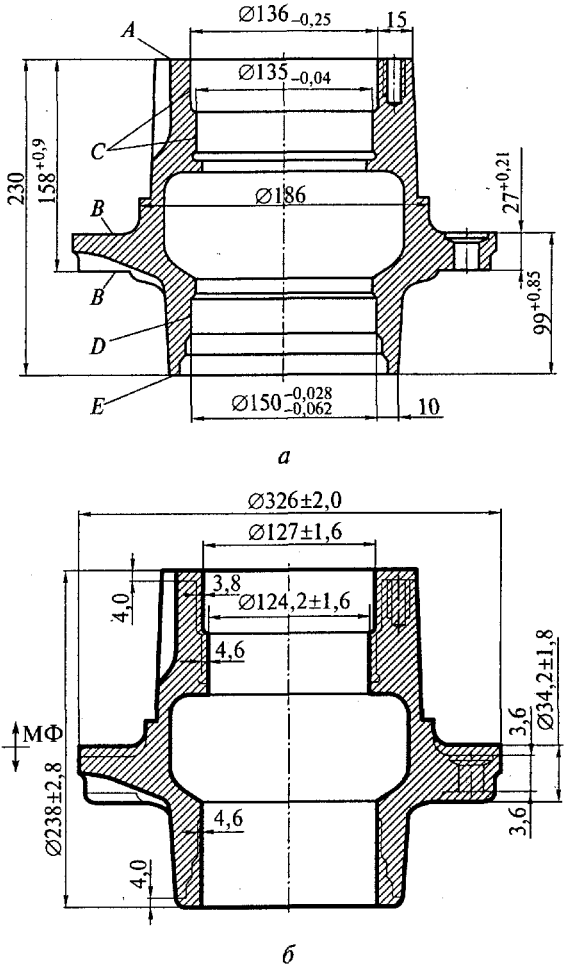


Рис. 18.2. Чертеж детали (*а*) и отливки (*б*) ступицы заднего колеса: МФ — разъем модели и формы; *A*, *B*, *C*, *D*, *E* — обрабатываемые поверхности

2. По тому же ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) (см. в стандарте прил. 1, табл. 10) находим степень коробления элементов отливки: фланца (рис. 18.3) и основной цилиндрической части отливки (f — стрела прогиба).

При этом при определении степени коробления фланца, точнее его свисающих концов, за высоту принимаем толщину h = = 27 мм, за длину L — разность диаметров $L = D - D_1 = 326 - 186 =$ = 140 мм. Исходя из отношения $h/L = 0{,}19$ с учетом разовой формы и термической обработки отливки, интервал степени короб-

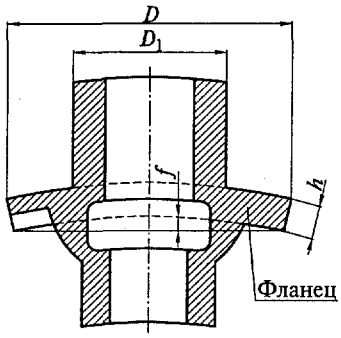


Рис. 18.3. Коробление фланца отливки:

D, D_1 — диаметры ступицы; h — толщина фланца; f — стрела прогиба

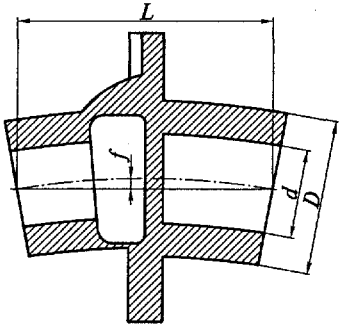


Рис. 18.4. Коробление цилиндра отливки:

f — стрела прогиба; L, D, d — высота, наружный и внутренний диаметры ступицы

ления составляет 5—8. В соответствии с примечанием к таблице стандарта[1] принимаем СКэ 7.

Следует заметить, что при определении наибольшей длины коробящего элемента для кронштейнов, фланцев и т. п. берут удвоенную длину концов, как, например, для ступицы фланца. При определении степени коробления внутреннего цилиндра (рис. 18.4) за высоту принимается диаметр $D = 166$ мм, за длину — $L = 230$ мм. Тогда по отношению $D/L = 0{,}72$ с учетом разовой формы и термической обработки отливки попадаем в интервал стандарта 4—7. В соответствии с примечанием принимаем СКэ 6.

Степень коробления отливки в целом принимается по наибольшему значению степени коробления элемента отливки, для нашего случая это СК 7.

3. По ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) (см. в стандарте прил. 1, табл. 11) для заданного технологического процесса, габаритного размера 326 мм и материала КЧ35-10 (предусмотрена термическая обработка) находим интервал степеней точности поверхности 13—19. С учетом примечания принимаем СП 15.

4. По тому же ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) (см. в стандарте прил. 1, табл. 13) для заданного технологического процесса, номинальной массы 22 кг и материала КЧ35-10 (предусмотрена термическая обработка) находим интервал классов точности массы, равный 8—15. С учетом примечания принимаем КМ 11.

5. Допуск смещения отливки определяем для наименьшей толщины стенки в плоскости разъема по классу точности размеров

[1] Здесь и далее по тексту см. в ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) примечание к соответствующим таблицам.

отливки, т. е. КР 11. В нашем случае $h = 14$ мм; по табл. 1 из ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) для КР 11 и $h = 14$ мм находим $T_{см} = 2{,}8$ мм.

Таким образом, найдены основные параметры точности отливки ступицы заднего колеса: класс точности размеров КР 11, степень коробления СК 7, степень точности поверхности СП 15, точность массы КМ 11 и допуск смещения $T_{см} = 2{,}8$ мм. В соответствии с ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) необходима соответствующая запись в ТУ отливки. Для нашего случая записываем:

Точность отливки: 11-7-15-11См.2,8 мм, ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.).

6. Для обрабатываемых поверхностей необходимо определить ряд припуска РП. По табл. 16.3 находим для степени точности поверхности СП 15 интервал ряда припусков 6—9. С учетом применения принимаем РП 8.

7. Определение припусков ведем для шести обрабатываемых поверхностей: *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, заполняя при этом последовательно табл. 18.1.

При определении припусков на обработку следует иметь в виду следующее. В соответствии с ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) точность размеров, пересекающих и выходящих на плоскость разъема, отражается в общей надписи на чертеже отливки. Этому виду размеров присвоено обозначение ВР2 (В — вид, Р — размер), что означает их принадлежность к размерам, образованным двумя частями формы.

Точность размеров, образованных одной частью формы или стержнем (обозначение ВР1), на один-два класса по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) точнее размеров ВР2, а точность размеров, образованных тремя и более частями формы, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также точность толщин стенок — на один-два класса «грубее» (т. е. меньше), чем точность размеров ВР2 (подробнее см. подразд. 16.2).

Поэтому при назначении припусков на механическую обработку важно знать, какими частями формы формируются внутренние и внешние поверхности отливки (формой, болваном, стержнем).

Общий припуск назначают по табл. 16.5 для устранения погрешностей размеров, формы и расположения, неровностностей и дефектов обрабатываемой поверхности, формирующихся при изготовлении отливки и последовательных переходах ее обработки (см. подразд. 16.6.1).

Следует отметить, что величина общего допуска при нахождении припуска зависит от схемы механической обработки (см. рис. 16.13). Выбор вида механической обработки ведется по табл. 16.6 и 16.7.

Допуски размеров детали берутся с ее чертежа. Если на свободных размерах детали отсутствуют допуски, то их можно опреде-

Таблица 18.1. **Определение общих припусков на механическую обработку поверхностей отливок**

Параметр	Значение параметра для обрабатываемой поверхности				
	A	*B*	*C*	*D*	*E*
Номинальный размер $N_н$ от базы до обрабатываемой поверхности, мм	158	27	99	135	150
Вид размера ВР	2	2	2	1	1
Класс точности размеров КР	11	11	11	10	10
Допуск размера отливки $T_о$	5,0	3,6	4,4	3,2	3,2
Номинальный размер*1 нормируемого участка $N^{о}_{н.у}$ обрабатываемой поверхности	166	160	170	79	69
Номинальный размер нормируемого участка базовой $N^{б}_{н.у}$ поверхности*1	156	156	160	27	27
Степень коробления отливки СК	7	7	7	7	7
Допуск формы и расположения поверхностей отливки $T_{о.ф}$	0,8	0,64	0,8	0,5	0,5
Допуск формы и расположения базовой поверхности отливки $T_{ф.баз}$	0,64	0,64	0,64	0,5	0,5
Допуск смещения $T_{см}$	—	—	—	2,8	2,8
Номинальный размер N_D отверстия D	—	—	—	326	326
Вид размера ВР	—	—	—	1	1
Класс точности размеров КР	—	—	—	10	10
Допуск T_D номинального размера D	—	—	—	4,0	4,0
Допуск позиционный $T_{поз} = T_D/2$	—	—	—	2,0	2,0
Общий допуск $T_{о.общ}$*2	5,0	4,0	5,0	6,4	6,4
Механическая обработка	*а**3	*в**3	*а**3	*б**3	*б**3
Общий допуск при назначении припуска	5,0	2,0	5,0	3,2	3,2
Общий припуск на обработку $Z_{общ}$ (см. табл. 16.5)	3,8 5,3 6,0 6,7	2,2 3,0 3,4 3,6	3,8 5,3 6,0 6,7	2,9 4,0 4,5 4,8	2,9 4,0 4,5 4,8
Вид механической обработки (см. табл. 16.6 и 16.7)	Черновая			Тонкая	

*1 При определении припуска необходимо учесть тот факт, что коробится не только обрабатываемая, но и базовая поверхность, относительно которой происходит обработка. Номинальным размером нормируемого участка поверхности $N^{о}_{н.у}$ является поверхность, на которой происходит коробление или которая обрабатывается. Номинальным размером нормируемого участка базовой поверхности $N^{б}_{н.у}$ является поверхность, на которой происходит базирование.

*2 См. в ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) табл. 16. Пояснения см. в подразд. 16.6.3.

*3 См. рис. 16.13.

лить по квалитетам. Например, для автомобильной отрасли — по квалитету 12 механической обработки (IT12).

После назначения припусков на обработку в соответствии с ГОСТ 3.1125—88 «Правила графического выполнения элементов литейной формы и отливок» с учетом чертежа детали разрабатывается чертеж отливки или на чертеж детали наносятся найденные значение припусков. Отверстия, которые «не проливаются» (т.е. не изготовляются в процессе получения отливки), необходимо «заглушить» (показано на рис. 18.2, *б*).

Кроме припусков на механическую обработку на чертеж детали наносят плоскость разъема, формовочные уклоны (сверх припусков), литейные радиусы и радиусы сопряжения толщин стенок.

Контуры отливки обводят жирными линиями, тогда как контуры детали показаны тонкими линиями (см. рис. 18. 2, *б*). На чертеже отливки (или чертеже детали с нанесенными размерами отливки) следует указывать измерительные базы (базы разметки) и базы первоначальной обработки поверхностей.

Допуски проставляются только на линейные размеры отливки, отличающиеся от обязательных общей надписью. Текст технических условий на отливки формируется с использованием технических условий чертежа детали. После нанесения припусков при необходимости проводится окончательная проверка проливаемости отверстий и формуемости болванов.

18.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

Разработка технологии литейной формы проводится согласно ГОСТ 3.1125—88 «Правила графического выполнения элементов литейной формы и отливок». На чертеж детали наносятся красным цветом — плоскость разъема и припуски на обработку, синим — контуры стержней. На знаковых частях стержней указывают зазоры, а также охранные пояски, которые определяют по ГОСТ 3212—92.

Существуют упрощенная схема технологии литейной формы (без элементов литниковой системы и размещения отливок) и подробная схема технологии формы (чертеж литейной формы).

18.2.1. Рекомендации по выбору положения отливки в форме и плоскости разъема

Выбор положения отливки в форме и определение плоскости разъема являются важными и взаимоувязанными операциями. Как правило, после выбора положения отливки в форме рассматривают несколько альтернативных вариантов плоскости разъема и останавливаются на наиболее рациональном из всех.

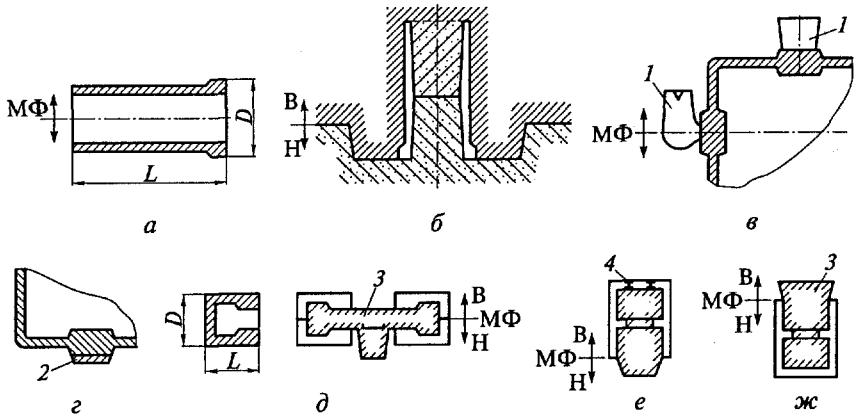


Рис. 18.5. Положения отливки в форме:

а, *б* — горизонтальное и вертикальное расположение отливки-гильзы в форме; *в*, *г* — варианты расположения массивных узлов отливки в форме; *д*, *е*, *ж* — варианты расположения отливки в форме; *1* — прибыль; *2* — холодильник; *3* — стержень; *4* — жеребейка; МФ — разъем модели и формы в направлении верха (В) и низа (Н); *L*, *D* — длина и диаметр отливки

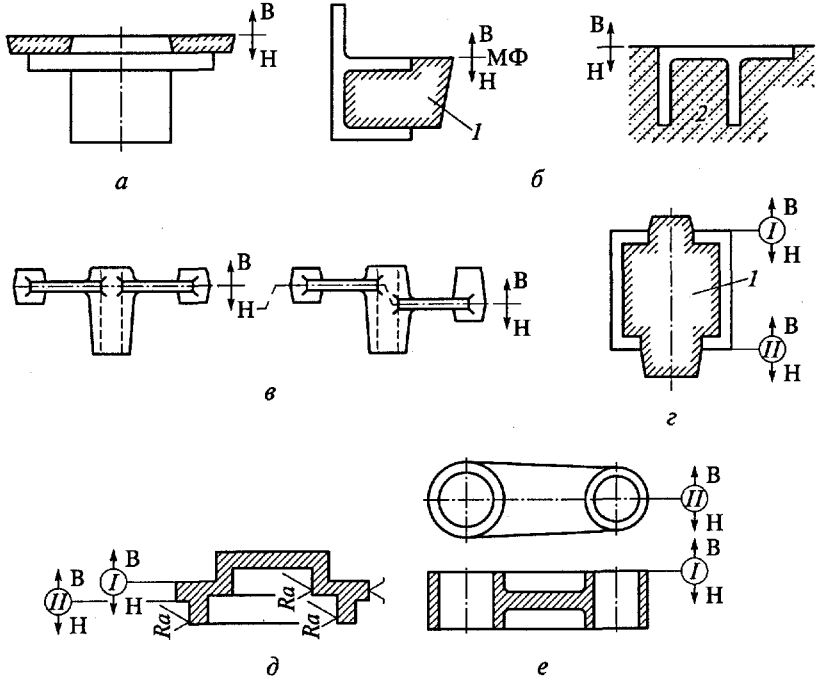


Рис. 18.6. Варианты (*а*—*е*) выбора плоскости разъема:

I, *II* — варианты выбора; *1* — стержень; *2* — болван; В, Н — верх и низ формы

Приведем основные рекомендации, которыми следует руководствоваться при выборе положения отливки в форме:

• отливку (на рис. 18.5, *а* для примера приведена отливка-гильза) в литейной форме следует располагать таким образом, чтобы ее наибольший габаритный размер ($L > D$) находился в плоскости разъема МФ. При этом важно соблюдать правило, согласно которому суммарная высота опок должна быть минимальной. Для выполнения этого правила и уменьшения суммарной высоты опок в некоторых случаях разъем делается ступенчатым (путем подрезки), как это сделано, например, при вертикальном без использования стержней изготовлении отливок гильзы цилиндров на АФЛ опочной формовки КамАЗ (рис. 18.5, *б*). При расположении гильзы цилиндров вертикально в форме необходимо провести оценку формуемости внутренней поверхности болваном (см. подразд. 18.2.2);

• отливки, требующие установки прибыли *1* (рис. 18.5, *в*), в форме располагают так, чтобы массивные части или тепловые узлы находились в плоскости разъема или в верхней ее части;

• у отливок, не требующих установки прибыли, массивные части отливки следует располагать в нижней части формы для возможной установки холодильника *2* (рис. 18.5, *г*);

• отливку следует размещать в форме так, чтобы для выполнения полостей использовался один стержень *3* на две отливки (рис. 18.5, *д*);

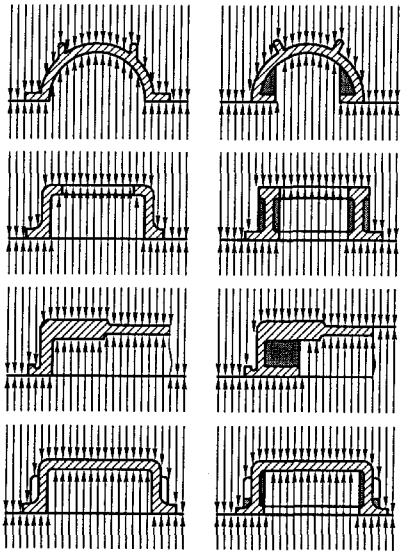
• для устранения образования газовых раковин положение отливки в форме должно обеспечивать верхний отвод газов из стержней (через верхние знаковые части). Вариант положения отливки в форме на рис. 18.5, *е* является неправильным, так как выход газа из стержня затруднен и может происходить только вниз через знак (для исключения всплытия стержня необходимо использовать жеребейки *4*). Поэтому правильнее выбрать положение отливки в форме, как показано на рис. 18.5, *ж*. При этом стержень *3* с обратным уклоном у знака можно заформовать в формовочную смесь в верхней полуформе, предварительно установив его в углубление в модели. В этом случае отпадает необходимость в использовании жеребеек.

При выборе плоскости разъема необходимо руководствоваться определенными правилами:

• всю отливку по возможности располагать в одной полуформе (иногда за счет усложнения технологии) для повышения геометрической точности и точности размеров (рис. 18.6, *а*);

• при формировании полостей отливки вместо стержней *1* следует использовать болваны *2* (рис. 18.6, *б*);

• болваны следует располагать в нижней полуформе, так как при этом усилия отрыва болвана при съеме модели уменьшаются на величину его веса;



а *б*

Рис. 18.7. Условие протяжки модели без подрыва (*а*) и с подрывом (*б*)

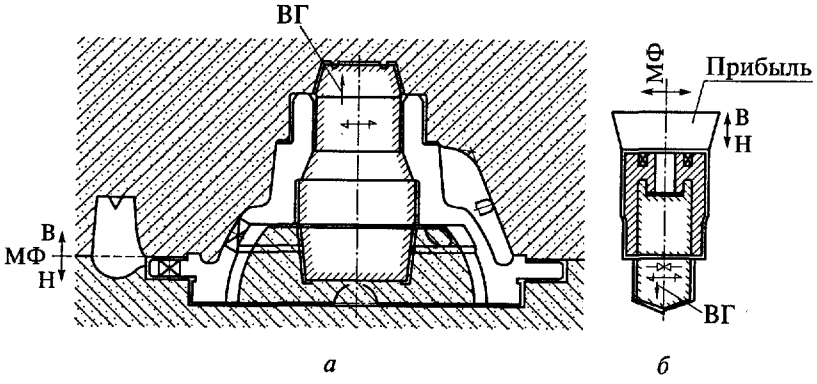
• разъем предпочтительней выполнять плоским (рис. 18.6, *в*, слева) или отдельные поверхности фигурного разъема должны быть плоскими (рис. 18.6, *в*, справа) для облегчения изготовления модельного комплекта;

• разъем должен обеспечивать удобство установки стержней *1* в нижней полуформе (на рис. 18.6, *г* вариант *II* предпочтительнее варианта *I*);

• база черновой механической обработки ∨ и большинство обрабатываемых поверхностей (*Ra* — шероховатость) должны находиться в одной полуформе (на рис. 18.6, *д*, вариант *I* предпочтительнее варианта *II*);

• протяженность заливов по плоскости разъема должна быть наименьшей (рис. 18.6, *е*, вариант *I*), а их зачистка удобной.

При выбранной плоскости разъема отливки модель должна свободно извлекаться из формы. Проверка может быть выполнена по отсутствию или наличию теневых участков при искусственном освещении отливки, направленном перпендикулярно плоскости разъема (рис. 18.7, *а*, *б*). В местах теневых участков (см. рис. 18.7, *б*)



а *б*

Рис. 18.8. Эскиз к описанию технологии литейной формы:

а — положение отливки при формовке и заливке совпадают; *б* — положение отливки при формовке и заливке не совпадают; МФ, В, Н — соответственно разъем модели и формы в направлении верха и низа; ВГ — направление выхода газов

модель невозможно извлечь без подрыва формы, т. е. в этих местах необходимы стержни, отъемные части и т. п.

Для обозначения плоскости разъема на чертеже детали используют знак стрелок от основной линии разъема и буквы «МФ» (рис. 18.8), что означает «разъем модели и формы». В случае неразъемной модели ставят только букву «Ф».

Направление разъема показывают сплошной основной линией, перпендикулярной плоскости разъема и ограниченной стрелками, около которых ставят буквы «В» (верх) и «Н» (низ) (рис. 18.8, *а*). Если отливка формуется в горизонтальном положении, а заливается в вертикальном, то буквы «В» и «Н» у стрелок не ставят. При этом на чертеже проводят еще одну основную линию со стрелками, параллельную положению формы при заливке, и у этой линии ставят буквы «В» и «Н» (рис. 18.8, *б*). Для обозначения плоскости разъема стержней используют знак стрелок (отличающийся от стрелок для отливки), кроме того указывают направление набивки смесей и выхода газов (ВГ) (см. рис. 18.8, *а*, *б*).

18.2.2. Формирование внешних и внутренних поверхностей отливок

После выбора положения отливки в форме и плоскости разъема необходимо, как уже отмечалось, определить, каким образом будут формироваться внешние и внутренние поверхности отливок (стержнем или формой). В большинстве случаев внешние поверхности выполняются формой и реже стержнями или отъемными частями. Внутренние поверхности могут быть выполнены болванами, стержнями или совместно болванами и стержнями.

Как уже было отмечено, предпочтительнее внутренние поверхности выполнять болванами. Для решения вопроса о возможности выполнения внутренней полости болваном следует использовать данные А. А. Волкомича о формуемости болванов. Им установлена экспериментальная зависимость между относительной высотой выпуклого элемента $H^{\circ}_{в.э}$ и относительной высотой буферной зоны $H^{\circ}_{б.з}$ (рис. 18.9). При этом было принято, что качество отливки будет хорошим, если твердость болвана по твердомеру 04412А(071) составляет 70 ед. и более. Кривая в названных координатах делит поле рис. 18.9 на области *А* и *Б*. В области *А* твердость болвана выше или равна 70 ед. Уравнение регрессии для данной кривой имеет вид

$$H^{\circ}_{в.э} = H^{\circ}_{в.э.расч} = K(1{,}519 - 0{,}2389 H^{\circ}_{б.з} - 0{,}0642 H^{\circ 2}_{б.з} + 0{,}03 H^{\circ 3}_{б.з}). \quad (18.1)$$

В зависимости от вида производства и способа уплотнения величина коэффициента K колеблется в пределах 0,5... 1,75.

Схема на рис. 18.10 и приведенные ниже уравнения поясняют, как пользоваться зависимостью на рис. 18.9 или уравнением (18.1).

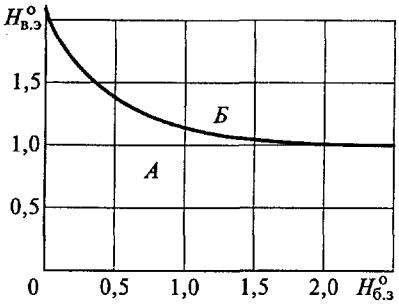


Рис. 18.9. Экспериментальная зависимость относительной высоты выпуклого элемента $H^{\circ}_{в.э}$ от относительной высоты буферной зоны $H^{\circ}_{б.з}$:
А — зона формуемости болвана; *Б* — зона неформуемости болвана

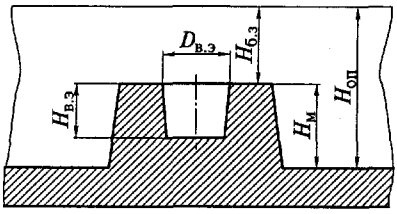


Рис. 18.10. Модель с нанесенными параметрами для оценки формуемости полости болваном:
$D_{в.э}$, $H_{в.э}$ — диаметр и высота выпуклого элемента; $H_{б.з}$ — высота буферной зоны; $H_{м}$ — высота модели; $H_{оп}$ — высота опоки

Относительная высота $H^{\circ}_{в.э}$ выпуклого элемента вычисляется из соотношения

$$H^{\circ}_{в.э} = H_{в.э}/D_{тр},$$

где $H_{в.э}$ — высота выпуклого элемента; $D_{тр}$ — диаметр трения смеси о модельную оснастку, определяемый из уравнения

$$D_{тр} = 4F/P,$$

где F — площадь выпуклого элемента с периметром P.

Для цилиндрического выпуклого элемента $D_{тр} = D_{в.э}$, для прямоугольника площадью $F = a \times b$ (где b — размер прямоугольника в плоскости, перпендикулярной чертежу) $P = 2(a + b)$, а $D_{тр} = 2ab/(a + b)$.

Аналогично определяется относительная высота буферной зоны

$$H^{\circ}_{б.з} = H_{б.з}/D_{тр},$$

где $H_{б.з}$ — высота буферной зоны (см. рис. 18.10).

Диаметр трения $D_{тр}$ буферной зоны принимается равным диаметру трения выпуклого элемента (болвана). Для конкретного болвана определяют $H^{\circ}_{в.э}$ и сравнивают с вычисленным по уравнению (18.1) значением $H^{\circ}_{в.э.расч}$. Если $H^{\circ}_{в.э} = H^{\circ}_{в.э.расч}$, то болван формуется, если $H^{\circ}_{в.э} > H^{\circ}_{в.э.расч}$, то болван не формуется, так как его твердость меньше 70 ед.

В некоторых случаях возможны разбивка болвана по высоте, например, пополам, и повторная оценка формуемости теперь уже для двух встречных болванов меньшей высоты.

Решение о том, как выполняются внутренние поверхности, можно считать принятым в первом приближении, так как после определения припусков на механическую обработку в размерах отливки

появятся изменения. Например, обрабатываемое отверстие, которое до назначения припуска «проливалось», после корректировки может стать «непроливаемым». Окончательное решение о формуемости болванов, а также проливаемости отверстий и определении размеров знаковых частей стержней принимается после нанесения на чертеж припусков на механическую обработку.

18.3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗНАКОВ СТЕРЖНЕЙ

18.3.1. Конструирование знаков стержней для опочной формовки

Конструирование знаков стержней проводят в соответствии с ГОСТ 3212—92 «Комплекты модельные. Уклоны формовочные. Стержневые знаки. Допуски размеров».

Знаки стержня непосредственно не участвуют в формообразовании отливки, однако они играют существенную роль в получении отливок с высокой геометрической точностью и точностью размеров. С помощью знаков стержень устанавливают в литейную форму и фиксируют в заданном положении. С точки зрения организации труда принципиально нет никакого различия между сборкой двигателя на конвейере и сборкой сложной литейной формы. Речь может идти лишь о точности сборки, но в обоих случаях при разработке технологии сборки используют систему допусков и теорию размерных цепей. Наиболее подробно в литейном производстве вопросами размерных цепей в литейной форме занимался профессор Б. П. Платонов. Им была предпринята попытка получения тонкостенных блоков цилиндров из высокопрочного чугуна. Теоретически он решил эту проблему с помощью теории размерных цепей, однако с учетом реальных допусков линейных размеров, формы и расположения поверхностей задача практической реализации теоретических предпосылок в 1970-е гг. не была решена.

В какой-то степени с появлением новой технологии изготовления стержней по холодной оснастке, имеющих повышенные геометрическую точность и точность размеров, становится возможным решение задачи изготовления тонкостенного блока цилиндров из высокопрочного чугуна. Важным моментом при этом является установление зазоров, натягов (если необходимо) между знаками стержней и литейной формы.

В машиностроении при холодной обработке металлов взаимозаменяемость достигается «системой отверстия» или «системой вала». При установлении зазоров между знаками стержней и формой пользуются «системой вала», которая обеспечивает при сборке формы точность внутренних размеров отливки и, следовательно, наиболее близкое приближение к ее теоретической массе. За-

зоры выполняются за счет увеличения размеров знаковых частей модели (формы).

Согласно ГОСТ 3212—92 знаки подразделяются на горизонтальные и вертикальные в зависимости от положения стержня в форме. Длину l горизонтальных знаков (рис. 18.11, *а*) для сырой формовки определяют по табл. 18.2.

Высоту нижнего вертикального знака h (рис. 18.11, *б*) для сырой формовки определяют по табл. 18.3. Высота верхнего вертикального знака h_1 принимается равной $0{,}5h$.

При определении технологических зазоров S_1, S_2, S_3 между знаками формы и стержня следует учитывать класс модельного комплекта (см. гл. 4). Например, для модельного комплекта МК5 для отливок с точностью размеров КР9—КР10 технологические зазоры определяют по данным табл. 18.4. Для модельных комплектов и отливок другой точности зазоры можно определить в соответствии с ГОСТ 3212—92 (см. в данном стандарте табл. 9, 11 и 12).

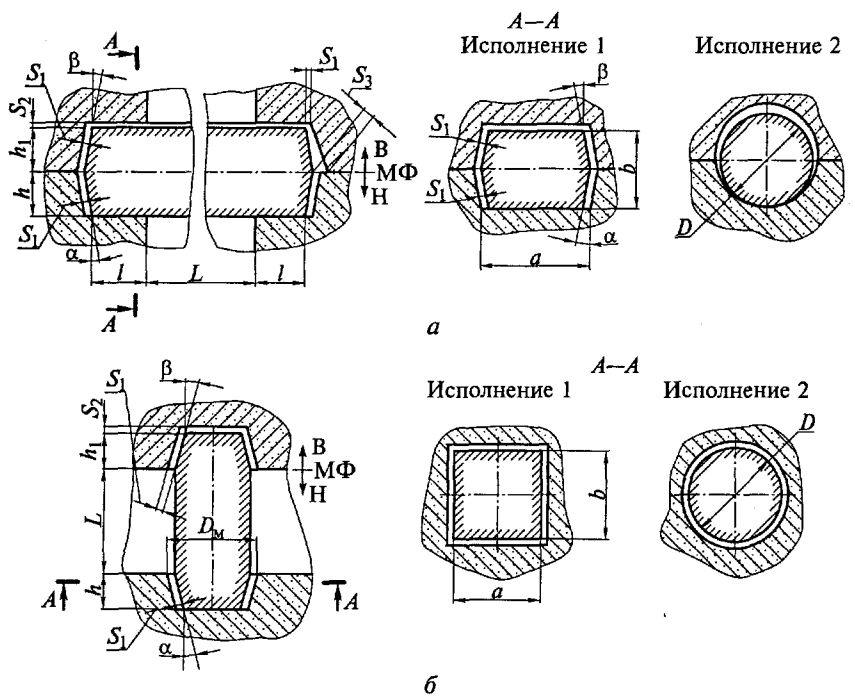


Рис. 18.11. Параметры знаков стержней:

а — горизонтального; *б* — вертикального; исполнение 1 — прямоугольное сечение $(a + b)/2$; исполнение 2 — круглое сечение диаметром D; $S1$, $S2$, $S3$ — зазоры между формой и знаком стержня; β, α — уклон для верхнего и нижнего знака стержня; L, l — длина рабочей части и знаков стержня соответственно; D, a, b — размеры сечения стержня

Таблица 18.2. **Определение параметров горизонтальных знаков стержней**

$(a + b)/2$ или D, мм	Длина знака l, мм, не более, при длине стержня L, мм												
	до 40	свыше 40 до 63	свыше 63 до 100	свыше 100 до 160	свыше 160 до 250	свыше 250 до 400	свыше 400 до 630	свыше 630 до 1000	свыше 1000 до 1600	свыше 1600 до 2500
До 25	20	25	30	35	—	—	—	—	—	—
Свыше 25 до 40					45	50				
Свыше 40 до 63				40	50	60	75	95	—	
Свыше 63 до 100			35	45	55	65	85	105		
Свыше 100 до 160	35	40		50	60	75	95	115	130	
Свыше 160 до 250			40		65	80	100	125	145	
Свыше 250 до 400	40	40	45	60	75	85	110	140	160	180
Свыше 400 до 630				65	85	100	130	160	180	220
Свыше 630 до 1000	—	—	—	—	—	115	150	180	210	260
Свыше 1000 до 1600						—	—	200	245	300

Таблица 18.3. **Определение параметров вертикальных знаков стержней**

$(a + b)/2$ или D, мм	Высота знака h, мм, не более, при высоте стержня L, мм									
	до 40	свыше 40 до 63	свыше 63 до 100	свыше 100 до 160	свыше 160 до 250	свыше 250 до 400	свыше 400 до 630	свыше 630 до 1000	свыше 1000 до 1600	свыше 1600 до 2500
До 25	20	30	30	30	—	—	—	—	—	—
Свыше 25 до 40					50	60				
Свыше 40 до 63	25	35	35	35	40		80	110	130	
Свыше 63 до 100						50				
Свыше 100 до 160	30						70	100		
Свыше 160 до 250										
Свыше 250 до 400						40	60	80	120	190
Свыше 400 до 630	40	40	40	40			50			180
Свыше 630 до 1000	50	50	50	50	50	50		70	110	160
Свыше 1000 до 1600	70	70	70	70	70	70	70		100	140
Свыше 1600 до 2500	100	100	100	100	100	100	100	100		120

Таблица 18.4. **Определение технологических зазоров между знаками формы и стержня**

Высота знака H, мм	Зазоры S_1 (S_2), мм, не более, при высоте стержня L, мм									
	до 40	свыше 40 до 63	свыше 63 до 100	свыше 100 до 160	свыше 160 до 250	свыше 250 до 400	свыше 400 до 630	свыше 630 до 1000	свыше 1000 до 1600	свыше 1600 до 2500
До 25	0,3	0,4		0,5	0,6	0,7		1,1	1,4	1,9
Свыше 25 до 40	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	1,3	1,6	2,2
Свыше 40 до 63	0,5	0,6		0,7	0,8	0,9				
Свыше 63 до 100										
Свыше 100 до 160			0,7			1,0	1,0		1,7	
Свыше 160 до 250	0,6	0,7		0,8	0,9		1,1	1,4	1,8	2,3
Свыше 250 до 400			0,8							
Свыше 400 до 630	0,7	0,8		0,9	1,0	1,1	1,2			2,4
Свыше 630 до 1000	0,8	0,9		1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,9	2,5
Свыше 1000 до 1600	0,9	1,0			1,3		1,5	1,7	2,1	2,8
Свыше 1600 до 2500	1,2	1,4		1,5	1,6		1,7	1,9	2,3	3,0
Свыше 2500 до 4000	1,5	1,7			2,0		2,3	2,0	2,5	3,2
(S_2)	(0,5)	(0,6)	(0,7)	(0,8)	(0,9)	(1,0)	(1,3)	(1,7)	(2,3)	(3,2)

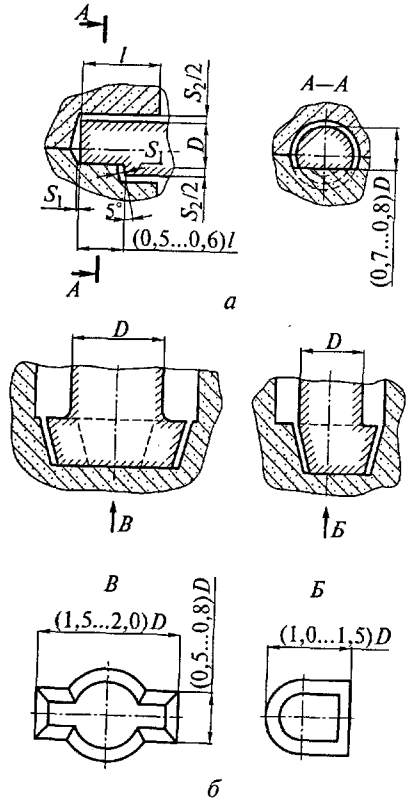


Рис. 18.12. Типы фиксаторов стержней для горизонтального (*а*) и вертикального (*б*) знаков:

S_1, S_2 — зазоры между формой и знаком стержня; l — длина знака стержня; D — диаметр стержня

Примеры применяемых фиксаторов для знаков, предупреждающих их смещение, представлены на рис. 18.12.

С целью предотвращения попадания жидкого металла в зазор и закрытия вентиляционного канала *5* предусматриваются обжимное кольцо *1* в верхнем знаке вертикального стержня (рис. 18.13, *а*) и обжимное полукольцо *3* на горизонтальном знаке стержня (рис. 18.13, *б*, табл. 18.5). Значение зазора S_3 следует принимать равным $1{,}5S_1$.

Для исключения выдавливания смеси внутрь полости формы при установке стержня на горизонтальном знаке стержня предусматривается противообжимной поясок *4*.

При установке стержня с вертикальным знаком в форму возможны задиры смеси, что может привести к ее скоплению в форме и к неточностям установки самого стержня. С этой целью в знаках

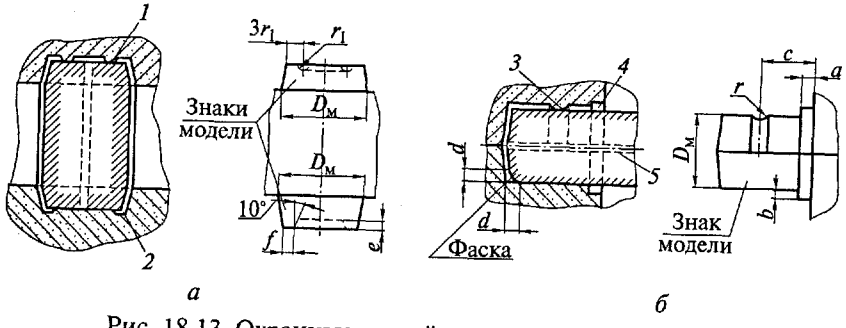


Рис. 18.13. Охранные устройства на знаках стержней:

а — вертикального; *б* — горизонтального; слева — изображение формы, справа — модель; *1* — обжимное кольцо; *2* — канавка; *3* — обжимное полукольцо; *4* — противообжимной поясок; *5* — вентиляционный канал; r_1, f, e, d, a, b, c — параметры охранных устройств; $D_м$ — диаметр модели

Таблица 18.5. **Параметры охранных устройств в знаках стержней и формы**

Диаметр знака $D_м$, мм	Конструктивные размеры, мм							
	Горизонтальный знак					Вертикальный знак		
	a	*b*	*c*	*r*	*d*	*e*	*f*	r_1
Свыше 40 до 63	5	0,5	—					
Свыше 63 до 100		1,0	15	2	10	2	3	2
Свыше 100 до 250	8	1,5	20	3	15	3	4	3
Свыше 250 до 400	10		25	5		4	5	5
Свыше 400	12	2,0	40		20	5	6	5

предусматриваются канавки *2* (см. рис. 18.13, *а*). Параметры конструктивных элементов (охранных устройств) определяют по табл. 18.5.

При конструировании стержней дополнительно предусматривается разработка газоотводных каналов (см. гл. 8). Все изложенное о конструировании справедливо только для простых стержней, сложные стержни, т. е. стержни, которые трудно изготовить в стержневом ящике, предварительно мысленно разбивают на простые стержни (выбор границ стержней см. в подразд. 2.7). Пример выбора границ стержней сложного стержня показан ранее (см. рис. 2.16).

18.3.2. Особенности конструирования знаков стержней для безопочной формовки

В последние годы в литейных цехах появились автоматические формовочные линии (АФЛ) безопочной формовки с вертикальной плоскостью разъема фирмы «DISA». При установке стержня в

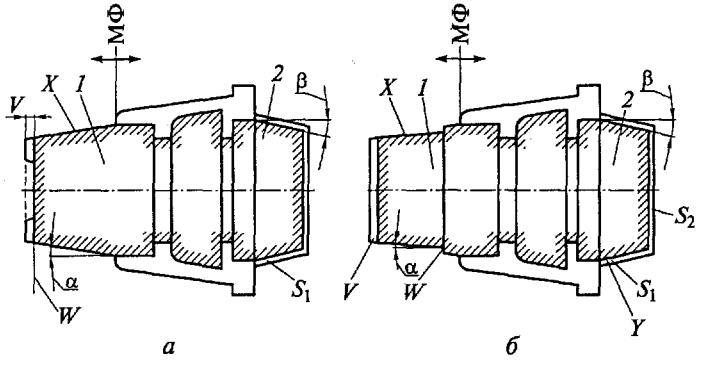


Рис. 18.14. Знаки стержня, перпендикулярного плоскости разъема формы, для АФЛ типа «DISA»:

1 — удерживающий знак; *2* — установочный знак; *X* — поверхность знака, выполняемая с натягом; *Y* — то же, с зазором; *W* — опорная поверхность стержня; *V* — глубина канавки; *U*, S_1, S_2 — зазоры; α, β — уклон знака стержня

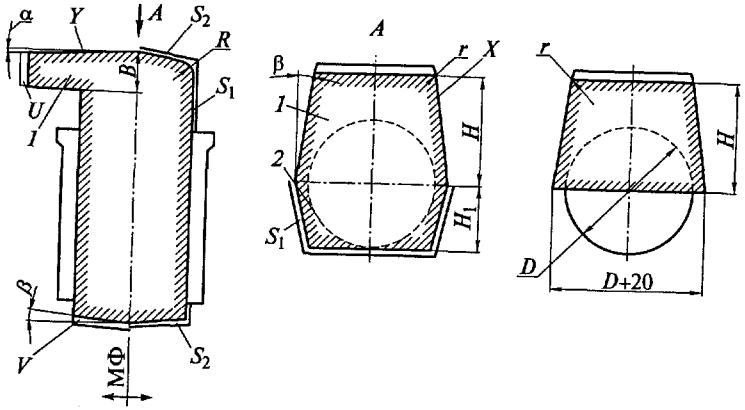


Рис. 18.15. Плоскостные фиксаторы стержней для АФЛ типа «DISA»:

1 — удерживающий плоскостной фиксатор; *2* — установочный фиксатор; *V*, *U*, *X*, *Y*, *R*, *r*, α, β — размеры фиксаторов; *B* — ширина фиксатора (не менее 15 мм); *D* — диаметр стержня; *H* — высота удерживающего знака; S_1, S_2 — зазоры

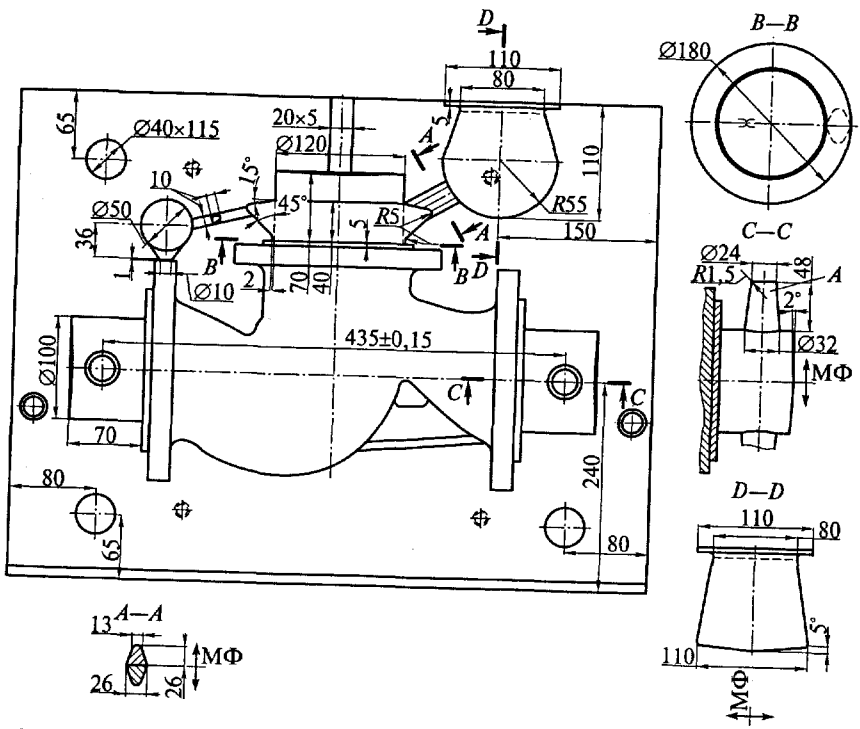


Рис. 18.16. Чертеж модельного комплекта плиты для отливки арматуры, изготовляемой из серого чугуна на АФЛ типа «DISA»:

A — штыревой фиксатор

Таблица 18.6. **Определение параметров знака и фиксаторов**

Диаметр стержня D, мм	Параметры знака и фиксаторов									
	Радиусы, мм		Уклоны, °		Зазоры, мм				Натяг, мм	Размер в размер
	R	r	α	β	S	S_1	U	V	X	Y
До 50	2	1	5	2	2	0,2	3	2	0,2 + 0,1	0...0,2
Свыше 50	2	1	2	5	2	0,4	5	3	0,2 + 0,1	0...0,2

форму стержнеукладчиком стержень может выпасть, поэтому по рекомендациям фирмы для этого используют удерживающие знаки или фиксаторы, отдельные поверхности которых выполняют с «натягом». Однако рекомендаций фирмы по конструированию знаков стержней и фиксаторов оказалось недостаточно. В результате обобщения имеющихся материалов и опытных данных отечественных предприятий (АМО «ЗИЛ», КамАЗ) был создан пакет прикладных программ ППП ТОТЛ-1.

Для безопочной формовки на АФЛ типа «DISA» с вертикальной плоскостью разъема стержни предлагается подразделять на перпендикулярные и параллельные плоскости разъема.

Для стержней, расположенных перпендикулярно плоскости разъема, предусмотрены удерживающий и установочный знаки. При этом важным является то, какая поверхность выступает в качестве опорной. Если опорной поверхностью является торец знака, то в форме со стороны торца удерживающего знака выполняются мусоросборники (рис. 18.14. *а*). В случае, если опорной поверхностью является другая часть стержня, в форме со стороны удерживающего знака предусматривается зазор U (рис. 18.14, *б*). Удерживающий знак выполняется с натягом.

У стержней, расположенных параллельно плоскости разъема, для удержания стержня в форме используют плоскостные (рис. 18.15) и штыревые (рис. 18.16, *а*) фиксаторы. При определении удерживающих и установочных параметров можно воспользоваться рекомендациями фирмы «DISA» (табл. 18.6). Для ответственных отливок применяются установочные фиксаторы на знаках стержней. С помощью установочных фиксаторов стержень с зазором фиксируется в маске стержнеукладчика и удерживается в ней за счет разрежения.

На рис. 18.16 приведены модельный комплект плиты для отливки арматуры, изготовляемой из серого чугуна на АФЛ «DISA». Буквой «А» на знаке модельной оснастки отмечена модель штыревого фиксатора для знака стержня. Возможно применение комбинированных (плоскостных и штыревых) фиксаторов. Высота удерживающего фиксатора H составляет $(1{,}0...1{,}5)D$ (диаметра знака стержня), высота установочного знака $H_1 = 0{,}5D$, минимальная ширина фиксатора $B_{min} \geq 15$ мм.

18.4. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ (МОДЕЛЬНОГО КОМПЛЕКТА)

Как отмечалось ранее, в техническое задание на проектирование технологической оснастки входят чертеж отливки; чертеж детали с нанесенной технологией литейной формы; чертеж мо-

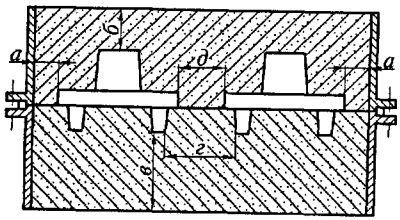


Рис. 18.17. Размещение отливок в форме для опочной формы

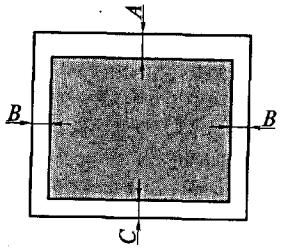


Рис. 18.18. Размещение отливок в форме для безопочной формы с вертикальной плоскостью разъема

Таблица 18.7. **Наименьшие расстояния между моделями, моделями и стенками опок**

Отливки	Граничные размеры, мм, в соответствии с рис. 18.17				
	а	*б*	*в*	*г*	*д*
Мелкие (до 10 кг)	20...30	35...60	50...75	0,3 высоты модели в полуформе	0,5 высоты модели в полуформе
Средние (10...50 кг)	50...75	75...100	11...125		
Крупные (более 50 кг)	125...175	150...200	175...200	—	—

Таблица 18.8. **Минимальная толщина стенки формы *А*, *В* и *С* между поверхностями моделей и полостью отпечатка модели**

Толщина стенки отливки, мм	Наибольшая высота модели, мм	Граничные размеры, мм, в соответствии с рис. 18.18		
		А	*В*	*С*
До 10	До 50	70	30	30
20...25	До 50 100...150 200...250	70	70 90 110	60 80 100
Свыше 25	До 50 100...150 200...250	70	80 100 120	70 90 110

дельной плиты с размещенными на ней моделями и элементами литниковой системы с указанием размеров.

При размещении моделей на модельной плите для опочной формовки можно воспользоваться рекомендациями, представленными на рис. 18.17 и в табл. 18.7. Для безопочной формовки с вертикальной плоскостью разъема рекомендации по размещению моделей представлены на рис. 18.18 и в табл. 18.8.

18.5. ПРИМЕРЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Пример 1. На рис. 18.19 приведены схемы вариантов технологии отливки из серого чугуна СЧ25 гильзы цилиндров с внутренним диаметром 100 мм и высотой 200 мм автомобиля КамАЗ. При разработке технологии учтены два возможных варианта расположения отливки в форме: горизонтальное и вертикальное.

При горизонтальном расположении внутренняя поверхность формируется только стержнем (рис. 18.19, *а*). При этом обеспечивается минимальная высота опок (см. подразд. 18.1.2). Используемый в данном случае объемный стержень приводит к повышенному браку отливок по газовым раковинам, поскольку газовый поток может выходить не только через знаки стержня, но и через стенку отливки.

При вертикальном расположении отливки в форме (рис. 18.19, *б*) внутренняя поверхность гильзы формируется встречными болванами. Газовый поток выходит вверх, что значительно уменьшает вероятность образования газовых раковин. Отсутствие стержней существенно снижает трудовые затраты на изготовление отливок. Однако использование встречных болванов сопряжено с вероятностью их смещения и, соответственно, с увеличением припуска на обработку. Кроме того, припуск получается неравномерным из-за литейного уклона, составляющего 1° 30′.

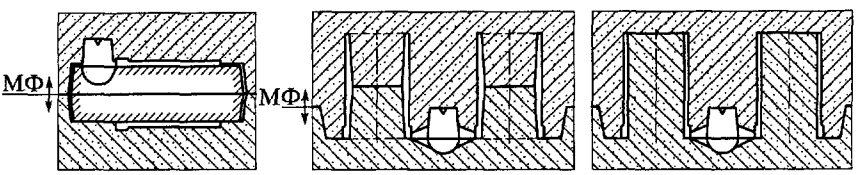


Рис. 18.19. Разработка технологического процесса изготовления отливки гильзы цилиндров:

а — гильза расположена горизонтально, внутренняя поверхность формируется стержнем; *б* — гильза расположена вертикально, внутренняя поверхность формируется встречными болванами; *в* — гильза расположена вертикально, внутренняя поверхность формируется болваном; МФ — разъем модели и формы

Таблица 18.9. **Сравнительный анализ по припускам для разных вариантов технологии**

Припуск на внутреннюю поверхность	Величины припусков для разных вариантов, мм			
	Рис. 18.15	Рис. 18.19		
		а	*б*	*в*
Общий $Z_{общ}$	1,5	1,9	1,5	1,5
Максимальный с учетом уклонов $Z_{общ\ max}$	1,5	3,7	2,9	1,5

На рис. 18.19, *в* внутренняя поверхность гильзы формируется одним болваном. К положительным результатам варианта, показанного на рис. 18.19, *б*, добавляется то, что внешняя базовая поверхность располагается в одной полуформе с внутренней поверхностью. Припуск несколько уменьшается, поскольку отсутствует смещение, кроме того, уменьшается литейный уклон до 0° 45′. Однако припуск на внутренней поверхности остается неравномерным. Данный вариант является оптимальным. Отметим также, что в вариантах на рис. 18.19, *б*, *в* для сохранения высоты опок используется подрезка.

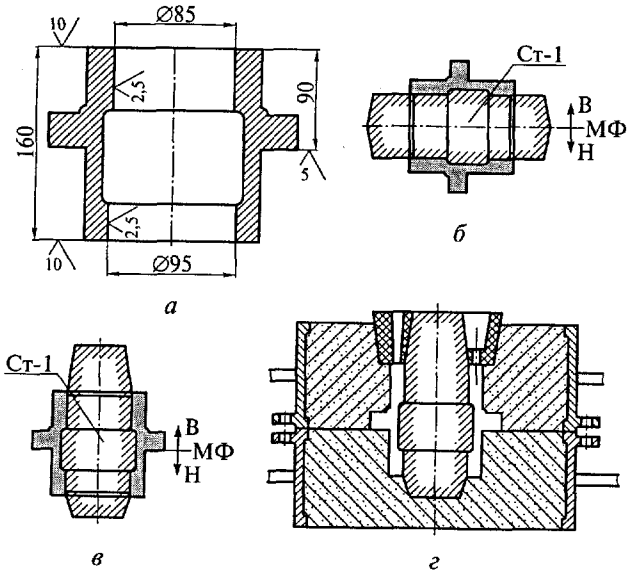


Рис. 18.20. Разработка технологического процесса изготовления отливки корпуса подшипника:

а — чертеж детали; *б*, *в* — варианты технологии; *г* — собранная форма; Ст-1 — стержень; МФ — разъем модели и формы; В, Н — верх и низ

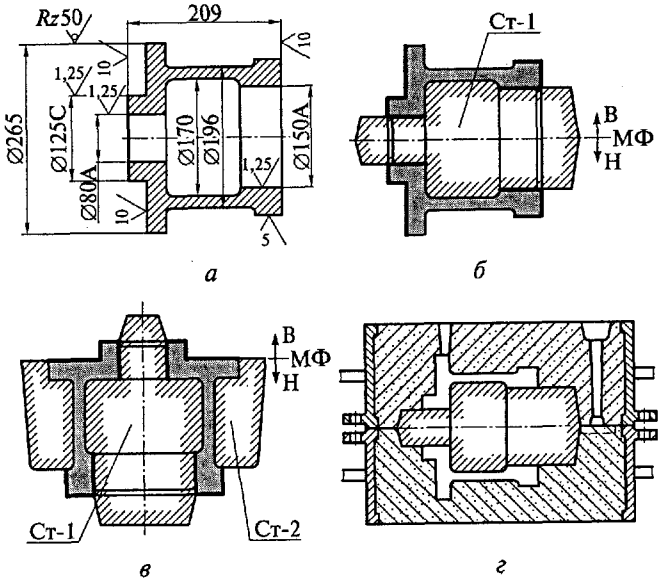


Рис. 18.21. Разработка технологического процесса изготовления отливки корпуса гидромотора:

а — чертеж детали; *б*, *в* — варианты технологии; *г* — собранная форма; Ст-1, Ст-2 — стержни; МФ — разъем модели и формы; В, Н — верх и низ

На рис. 18.15 изображен вариант, который успешно используется на АФЛ безопочной формовки с вертикальной плоскостью разъема. Внутренняя поверхность формируется стержнем, который закрепляется в форме перед сборкой с помощью удерживающего фиксатора. Припуск на внутреннюю поверхность получается равномерным. Газовый поток, как и в вариантах на рис. 18.19, *б*, *в*, направлен вверх через знаки стержней. Припуски на механическую обработку отливок, изготовленных по вариантам рис. 18.15 и рис. 18.19, *а*—*в*, приведены в табл. 18.9. Расчеты припусков выполнены с использованием ППП ТОТЛ-1.

Пример 2. Рассматривается отливка корпуса подшипника тепловоза [22]. На рис. 18.20, *а* представлен чертеж отливаемого из чугуна подшипника тепловоза. При разработке технологического процесса можно принять как горизонтальное (рис. 18.20, *б*), так и вертикальное (рис. 18.20, *в*) положение отливки в форме. При горизонтальном положении отливки несколько более удобными оказываются процессы формовки и сборки формы, а при вертикальном положении отливки в форме будут более чистыми внутренние обрабатываемые поверхности, число стержней при этом не изменяется.

Имея в виду небольшую высоту отливки, для обеспечения более высокого ее качества принимают вертикальное положение этой

отливки при заливке. При этом применяют дождевую систему, для чего изготовляют специальный стержень, а на модели — отъемную часть, выполняющую гнездо для его установки (рис. 18.20, *г*).

Пример 3. Корпус гидромотора (рис. 18.21, *а*) отливают из серого чугуна. Отливку можно заливать и горизонтально (рис. 18.21, *б*), и вертикально (рис. 18.21, *в*). При вертикальном разъеме требуется дополнительный большой стержень, поэтому более экономичным оказывается получение отливки с горизонтальным разъемом (рис. 18.21, *г*).

18.6. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК

В условиях современного промышленного производства необходимы высокая производительность, постоянное расширение и обновление ассортимента выпускаемых изделий при одновременном сокращении сроков освоения их технологий.

Эти проблемы актуальны для любого типа производства, в том числе для массового, для которого их решение оказывается более простым, чем для серийного, мелкосерийного и единичного производства. Предприятия в этих производствах обычно обладают большей гибкостью за счет оснащения универсальным технологическим оборудованием, сравнительно просто переключаемым на изготовление изделий другого наименования, но существенно менее производительным и предусматривающим, как правило, значительные затраты ручного труда при его обслуживании. Данная сфера производства наиболее сложно поддается автоматизации. Тем не менее, именно здесь сосредоточено до 80 % общего объема выпуска продукции машиностроения. Кроме того, этим предприятиям практически постоянно приходится решать задачу освоения и выпуска новых, ранее не производившихся или видоизмененных изделий.

Сильным тормозом повышения эффективности автоматизированного машиностроительного комплекса массового и крупносерийного производства являются также длительные сроки проектирования и особенно подготовки производства новой техники, что часто приводит к моральному старению еще не начатых эксплуатироваться изделий.

В идеале решать эти проблемы призвано гибкое автоматизированное производство, которое должно обладать способностью изготовлять относительно небольшие партии изделий при высоких экономических показателях, т.е. объединять в себе достоинства многономенклатурного мелкосерийного (большая гибкость) и массового (высокая производительность) видов производства. В дей-

ствительности значения отдельных технико-экономических показателей таких новых систем являются компромиссными по сравнению с максимально возможными. Так, например, многономенклатурные автоматизированные производства менее экономичны, занимают больше площади и т.д., чем малономенклатурные автоматические. Вместе с тем автоматизация предъявляет более жесткие ограничения, чем механизация, к разнообразию характеристик номенклатуры выпускаемых изделий и т.д.

Еще в середине прошлого века один из пионеров автоматизации профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана Г.А. Шаумян показал, что для эффективного решения проблем автоматизации необходим комплексный подход к созданию автоматического оборудования, технологии и разработке конструкции изделий (деталей, отливок) с учетом соответствия требований их изготовления на автоматическом оборудовании. В современных условиях в данном традиционном подходе при создании гибкого автоматизированного производства (ГАП) разрабатываются системы автоматического управления технологическими процессами (АСУ ТП), системы автоматического проектирования (САПР), включающие системы автоматической подготовки производства (АСУ ПП) и более сложные интегрированные системы на их основе.

Традиционное противоречие между возможностью автоматизации и серийностью в мелкосерийном производстве может быть разрешено посредством использования приемов искусственного увеличения серийности изготовления деталей. Эти приемы в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства основаны на унификации объектов, способов и средств производства.

Поэтому при разработке технологического процесса гибкого автоматизированного производства отливок помимо соблюдения принципов, относящихся к общим правилам построения технологии получения отливок, особое внимание уделяется проблемам, от которых зависит рентабельность мелкосерийного автоматического производства.

Одним из основных условий решения этих проблем является разработка групповых технологических процессов изготовления отливок. По ГОСТ 3.1109—82, групповой технологический процесс — это изготовление группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. Использование групповой технологии дает возможность при мелкосерийном производстве увеличивать объем партии отливок в технологическом потоке и тем самым сокращать число переналадок оборудования при их выпуске. В некоторых отраслях машиностроения при внедрении групповой технологии объем переналадок оборудования сокращается на 60...70 %. Важно и то, что групповые технологии позволяют организовать мощные однородные технологические потоки в мелкосерийном производстве. Это облегчает



а *б*

Рис. 18.22. Отливки, не относящиеся к одной группе по конструктивно-технологической классификации:

а — материал отливки АЛ-2, программа выпуска 1 млн шт./год, точность отливки КР 3т — 5 (ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.)); *б* — материал отливки АЛ-2, программа выпуска 100 шт./год, точность отливки КР 6 — 11 (ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.))

создание для них высокопроизводительных автоматических комплексов, линий с рациональной гибкостью и, следовательно, приемлемой экономической эффективностью.

Основа групповой технологии — объединение в семейства отливок, обладающих определенной общностью конструктивных признаков, технических требований, объемов производства и др. Для таких семейств оказываются приемлемыми единая последовательность операций, одни и те же модели оборудования без переналадки или с их минимумом, а также иные технологические решения и подходы к конструированию оснастки.

Объединение отливок в семейства выполняют путем разработки классификаций по наиболее существенным для решения поставленной задачи признакам. Обычно системы классификации, используемые для рассматриваемой цели, содержат две группы признаков, а именно:

- конструктивные признаки — габаритные размеры, геометрические характеристики формы, материал отливок и т. п.;
- производственно-технологические признаки — серийность, технические условия на отливки, принципиальные технологические решения.

Для получения правильных результатов необходимо учитывать обе группы признаков. На рис. 18.22 представлены две отливки одинаковой конфигурации и из одного материала. Однако по производственно-технологическим признакам (серийности и точности) относить их к одному семейству нецелесообразно. Отливку,

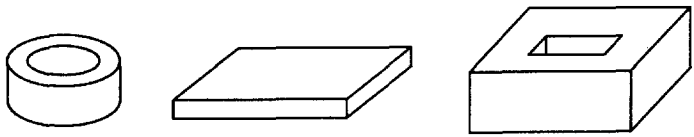


а *б*

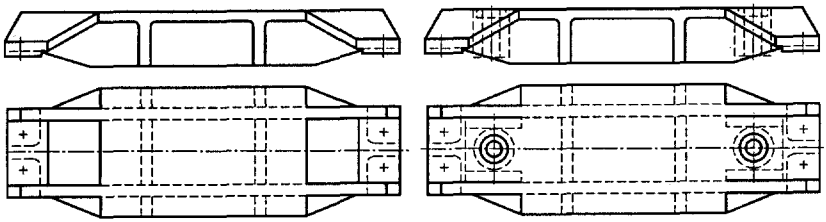
Рис. 18.23. Отливки, относящиеся к одной группе по конструктивно-технологической классификации:

а, б — материал отливок СЧ18, программа выпуска 1 млн шт./год, точность отливок КР 6 — 11 (ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.))

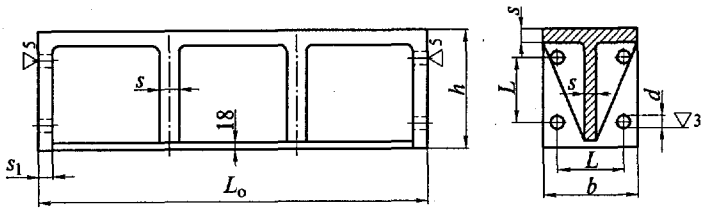
Класс — общий характер конфигурации



Группа — сходные отливки, различающиеся отдельными элементами



Тип — конструктивно подобные отливки, различающиеся только размерами



Размеры, мм							Масса траверсы, кг
L_{oi}	h	b	d	L	s	s_1	
686,5...2186,5	200	180	26	110	25	30	60...166
719...2619	250	200	26	125	30	35	77...265
1032...3242	300	240	32	160	35	40	172...507

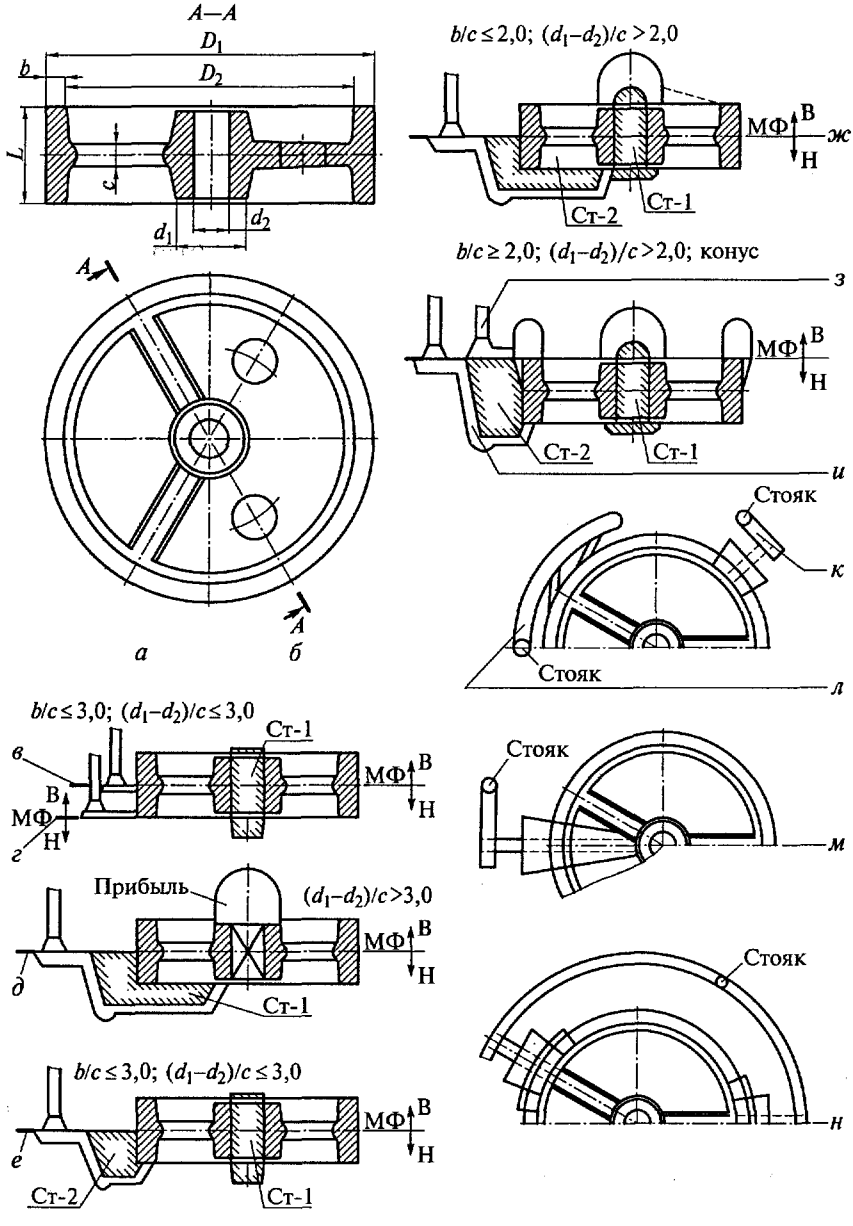
Рис. 18.24. Степень конструктивного подобия отливок

оиведенную на рис. 18.22, *а*, лучше изготовлять методом литья эд давлением, тогда как отливку, показанную на рис. 18.22, *б*, ожно получить более дешевым способом — литьем в песчано-инистую форму. В то же время отливки, имеющие разную конигурацию, как показано на рис. 18.23, по производственно-техологическим признакам, можно изготовлять в одном технологи-ческом потоке литьем в песчано-глинистую форму.

По степени конструктивного производственно-технологичес-ого подобия отливки обычно разделяют на классы, группы и ипы (рис. 18.24).

По общему характеру конфигурации отливки объединяют в л а с с. Исходя из главного общего их признака — конфигура-ии — отливка может быть отнесена к следующему классу: круг-

лая, коробчатая, параллелепипед, плита и т.д. В группу входят отливки, различающиеся только отдельными конструктивными элементами. Совокупность отливок с почти полным конструктивным подобием выделяется в тип. На понятие «тип отливок» не влияют отдельные вспомогательные элементы конструкции, не



отражающиеся на литейной технологии, например ребра, отверстия, для создания которых не требуются дополнительные технологические элементы-стержни, новые разъемы модели и формы и т. д.

Для отнесения отливки к типу или группе значение имеет и объем выпуска. Одна и та же отливка при частой повторяемости производства может быть отнесена к типу, а при редкой — к группе.

Рассматриваемая классификация дает возможность создавать ограниченное число технологических разработок для типов или групп отливок. Однако следует подчеркнуть, что в такой многооперационной технологии, как изготовление отливок в разовой разъемной форме, могут быть свои групповые процессы на каждом этапе производства: при изготовлении литейных форм, стержней, при очистке, термической обработке отливок и др. При разработке групповой технологии на отдельных этапах могут потребоваться не только группирование других изделий (например, стержней), но и не всегда совпадающие классификации отливок.

При проектировании групповой технологии литейного производства целесообразно учитывать типизацию трех категорий технологических элементов.

Технологические элементы п е р в о й категории (модели, стержневые ящики, шаблоны) непосредственно участвуют в формообразовании отливок.

Технологические элементы в т о р о й категории прямо не влияют на формообразование, они определяются с помощью расчетов (литниковые системы, прибыли, опоки, холодильники).

ис. 18.25. Конструкции деталей отливок типа «колесо» при соединении обода и ступицы:

— спицами; *б* — диском с отверстиями; *в*—*н* — варианты технологических роцессов изготовления отливок: *в* — разъем на середине высоты чугунного коеса с подводом металла по разъему; *г* — то же, по нижнему краю колеса с ким же подводом металла; *д* — разъем стальной отливки и формы (МФ) по ианту *в* с сифонным подводом металла в ступицу и прибылью для ступицы. ержень Ст-1 служит для сифонного подвода металла. Отверстие в ступице не ливается; *е* — разъем чугунного колеса по варианту *в* с сифонным подводом еталла в обод. Стержень Ст-1 служит для выполнения отверстия в ступице, ержень Ст-2 — для сифонного подвода металла в обод; *ж* — разъем стального олеса по варианту *в* с сифонным подводом в ступицу и прибылью для ступицы. ержень Ст-1, как в варианте *е*, а стержень Ст-2 — для сифонного подвода еталла; *з* — разъем по верхнему краю колеса с подводом металла в прибыль на юде, с прибылью на ступице и стержнем Ст-1 для отверстия в ступице; *и* — то е, с сифонным подводом металла в обод и стержнем Ст-2 для сифонного подда; *к* — вид сверху на колесо с сифонным подводом металла; *л* — то же, с дводом металла по разъему; *м* — вид на колесо сверху с сифонным подводом ступицу; *н* — то же, с сифонным рассредоточенным подводом в обод; D_1 — ружный диаметр колеса; d_1 — наружный диаметр ступицы; d_2 — диаметр отрстия в ступице; L — толщина колеса; b — толщина обода; c — толщина спицы (или диска); D_2 — внутренний диаметр обода

Технологические элементы третьей категории — это материальное обеспечение (металлы, сплавы для отливок, формовочные и стержневые смеси) и операции уплотнения и упрочнения форм и стержней, а также режимы заливки форм.

Элементы первой категории, определяющие форму и размеры отливок, поддаются типизации труднее, чем элементы второй и тем более третьей категории. Технологические элементы второй категории можно свести к некоторым типам и типоразмерам и в соответствии с их особенностями распространить на различные отливки. Это дает возможность пользоваться ограниченным набором этих элементов. Легче всего типизируются наиболее универсальные и широко применяемые в производстве самых разнообразных отливок технологические элементы третьей категории. Использование групповой технологии позволяет организовать автоматизированное изготовление мелкосерийных отливок, относящихся к одной группе или типу. Для каждого потока устанавливают тип технологического оборудования, оптимальные составы формовочных и стержневых смесей, вспомогательное оборудование и т. д.

При необходимости изготовления новых отливок каждую из них включают в тот технологический поток, который обеспечивает получение заданного качества этих отливок при наиболее высокой эффективности производства.

Наибольшую перспективу для развития системы автоматического проектирования (САПР) технологии отливок и подготовки производства имеет разработка типовых технологических процессов.

Типовой технологический процесс характеризуется единством основных технологических элементов, кроме их размеров, из которых большая часть не одинаковы. Использование проверенных типовых процессов позволяет также обеспечивать качество получаемых отливок вне зависимости от квалификации конкретных технологов-разработчиков.

На рис. 18.25 *а*, *б* приведен чертеж распространенной конструкции детали типа «колесо» (шкивы, колеса, маховики, шестерни и др.), состоящей из обода и ступицы, соединенных спицами (рис. 18.25, *а*) или диском (рис. 18.25, *б*).

На рис. 18.25, *в*—*н* рассмотрены основные варианты типовых технологических процессов и их определяющие факторы для данных отливок из серого чугуна (рис. 18.25, *в*, *г*, *е*) и стали (рис. 18.25, *д*, *ж*—*н*).

Разъем модели и формы для данного типа отливок обычно выполняют по горизонтальной оси симметрии детали (см. рис. 18.25, *в*). Разъем по варианту на рис. 18.25, *г* может быть целесообразен, когда очень малый размер *с* детали (тонкие спицы или диск) затрудняет изготовление обычной разъемной модели. В этом случае делают две модели, одна из которых фальшивая. Подвод металла в

случае, если деталь маховик, колесо и т.п. с указанными на эскизе (см. рис. 18.25, *в*, *г*) соотношениями размеров, осуществляется по разъему под углом к ободу, чтобы не разбивать струей металла песчаный выступ в форме (рис. 18.25, *д*). Число питателей и размеры элементов литниковой системы определяются общепринятыми методами. Если деталь — шестерня с теми же соотношениями основных размеров, то металл целесообразно подавать в обод снизу (рис. 18.25, *е*, *к*), в обход зоны, где будут нарезаны зубья шестерни, так как в месте присоединения питателя к отливке по схеме на рис. 18.25, *в*, *г* в зоне будущего зуба могут оказаться усадочные дефекты из-за перегрева этого места. Так, в схеме на рис. 18.25, *е* появляется стержень Ст-2, позволяющий реализовать этот вариант подвода металла.

При более массивной ступице (рис. 18.25, *ж*) для исключения вероятности появления в ней усадочных дефектов на ступицу необходимо поставить «прибыль» и для повышения эффективности ее действия подать металл в ступицу (рис. 18.25, *м*). В случае, когда размер d_2 в ступице позволяет использовать центральный стержень, последний вариант может быть реализован по схеме на рис. 18.25, *ж*. Для стальных деталей этой группы из-за повышенной усадки металла прибыль на ступице устанавливают уже при более «жестких» соотношениях основных размеров (см. рис. 18.25, *ж*).

Очень часто при литье стальных зубчатых колес прибыли устанавливают и на ободе (рис. 18.25, *з*). Изменение разъема модели и формы (МФ) в данном случае диктуется необходимостью сформовать модель с напуском под более широкие прибыли на ободе. Число и размеры прибылей на ободе определяют по известной методике для отливок типа «плита», расположенных при заливке вертикально. Для деталей с относительно небольшим размером L можно использовать подвод металла по разъему в прибыли (см. рис. 18.25, *з*), что повышает эффективность их действия и исчезает необходимость в использовании стержня Ст-2. В остальных случаях из-за опасности размыва формы, разбрызгивания и окисления металла, подвод металла осуществляется по варианту, показанному на рис. 18.25, *и*, *н*, т.е. так же, как и на рис. 18.25, *е*.

Существуют отработанные типовые технологические процессы и для других характерных деталей машиностроения, таких, как глухие крышки, фланцы, полумуфты, крышки подшипников, обоймы, корпусы и крышки редукторов и др. Однако не все имеющиеся разработки пригодны для использования в гибком автоматизированном производстве без изменения, так как во многих случаях они тесно увязаны с серийностью изделий.

Технологический процесс в массовом и крупносерийном производстве должен обеспечивать максимальную производительность за счет автоматизации, отсутствия или минимального использования ручных операций. Отличительной особенностью проекти-

рования и подготовки массового и крупносерийного производств является возможность и экономическая целесообразность этапа отработки (доводки) отдельных принятых решений при относительной длительности периода производства изделий массовых серий (до перехода на изготовление новых изделий или их модификации). Расходы на доводку раскладываются на большое число отливок, поэтому в несущественной степени сказываются на себестоимости. В то же время даже незначительный экономический эффект за счет модернизации технологического процесса, повышения выхода годного и коэффициента использования металла позволяет получать выгоду из-за значительных объемов производства однотипных отливок. Найденные технологические решения в этих случаях увязаны не только с типом отливки, но и с ее конкретными конструктивными характеристиками.

При частой смене номенклатуры отливок в мелкосерийном и единичном производствах существенная трудность создания и реализации рациональной технологии, обеспечивающей заданное качество отливок в установленные сроки и при минимальных затратах, заключается в ограниченной возможности отработки и доводке технологического процесса. Следовательно, в этом случае при разработке технологии должны приниматься самые эффективные решения с повышенной надежностью, чтобы обеспечить получение годных отливок мелкой серии с первого раза. При этом такие показатели, как технологический выход годного (ТВГ) и коэффициент использования металла (КИМ), могут оказаться не самыми высокими.

Таким образом, разрабатываемый технологический процесс для гибкого автоматизированного производства должен обладать возможностью максимальной автоматизации и изначальной повышенной надежностью принимаемых решений.

Пояснить реализацию этого принципа проще всего на примере отливок, для которых обычно технологические решения в массовом и единичном производствах резко различаются. К такому типу относятся цилиндрические, гладкие и ступенчатые детали (втулки, цилиндры, гильзы и т. п.) с отношением длины к диаметру $l/d > 3{,}0$.

На рис. 18.26 показаны варианты технологии получения подобной цилиндрической фасонной относительно тонкостенной втулки из чугуна. По техническим требованиям к детали (герметичность при давлении 50 кПа) не допускаются дефекты на наружной и внутренней поверхности, шероховатость на наружных и внутренних опорных поясках Ra 1,25.

В массовом производстве при изготовлении отливки в песчаных формах на АФЛ ее располагают в форме горизонтально с разъемом по оси симметрии (рис. 18.26, *а*). Этот не лучший вариант для цилиндрической детали с такими техническими требова-

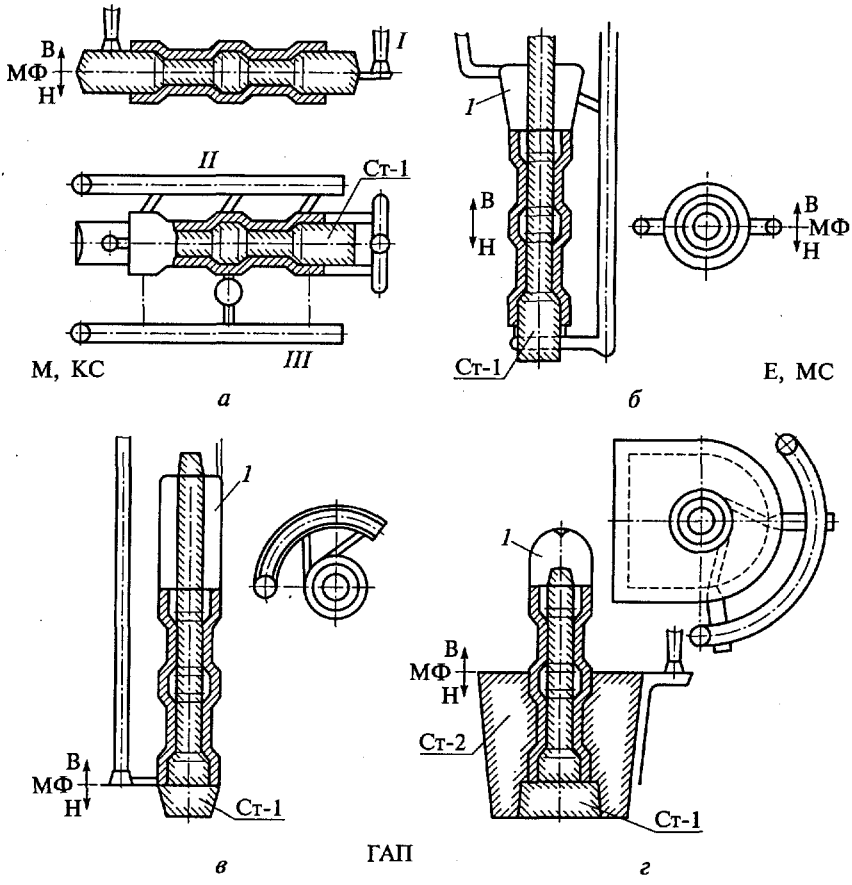


Рис. 18.26. Разработка технологического процесса для гибкого автоматизированного производства (ГАП) чугунной отливки типа «втулка» в единичном (Е), мелкосерийном (МС), крупносерийном (КС) и массовом (М) производствах:

а — формовка и заливка в горизонтальном положении формы; *б* — горизонтальный разъем при формовке, заливка в вертикальном положении; *в* — формовка в вертикальном положении с разъемом по нижнему краю; *г* — разъем отливки втулки примерно по середине ее высоты с сифонным рассредоточенным подводом металла: *I* — подвод с торца для относительно коротких втулок; *II* — рассредоточенный подвод для длинных тонкостенных втулок; *III* — подвод через питающие бобышки для отливок из высокопрочного чугуна; *1* — прибыль; В, Н — верх, низ; МФ — разъем модели и формы; Ст-1 — стержень вертикальный, во всех вариантах выполняющий внутреннюю поверхность втулки; Ст-2 — стержень, выполняющий наружную поверхность втулки

циями позволяет использовать относительно невысокие опоки, легко получать хорошее уплотнение формы. В этом варианте надежно устанавливается стержень и т. д. Для обеспечения требуемо-

го качества в зависимости от типа чугуна и размеров детали отрабатываются разные варианты литниковой системы. Для относительно коротких втулок подача металла осуществляется с торца (вариант *I*), для длинных тонкостенных втулок подвод металла лучше рассредоточить (вариант *II*). Если материал детали — чугун марок ВЧ, то может быть использован вариант *III* с питающими бобышками. Во всех случаях можно предусмотреть промывник с выпором. Окончательные варианты: размеры литниковой системы и промывников, а иногда и детали отрабатываются при отладке технологического процесса, контроле и испытании отливок.

В единичном и мелкосерийном производстве отливку формуют аналогично в горизонтальном положении (рис. 18.26, *б*), однако изначально надежное качество обеспечивается кантовкой собранной формы и заливкой отливки в вертикальном положении. На верхний торец отливки устанавливают прибыль. Для эффективного действия прибыли в верхней части наружной поверхности отливки заливают углубления (делают напуск) и для той же цели изменяют конфигурацию стержня. Заполнение формы происходит плавно снизу, через несколько питателей, с дополнительной подачей горячего металла в прибыль в конце заливки. Таким образом, на стадии проектирования обеспечиваются отсутствие дефектов и необходимая плотность отливки.

Несмотря на то, что в рассматриваемых вариантах производства уменьшается выход годного и возрастает объем последующей механической обработки, в единичном производстве потери могут многократно возрасти (в том числе и потери времени) в случае малонадежной технологии и получения некачественных отливок, особенно если это выявляется после их окончательной механической обработки.

Чтобы подобный надежный вариант мелкосерийного производства реализовать без изменения на современных автоматических линиях, необходимо выполнить как минимум следующее:

- изготовить специальные опоки для автоматической формовки, пригодные для подачи металла в разъем формы с торца;
- снабдить линию дополнительным автоматическим агрегатом для скрепления форм и их кантовки под заливку;
- иметь дополнительные агрегаты для разборки таких форм и т.д.

Все это требует значительных затрат и может быть эффективно лишь при наличии достаточно большого числа подобных отливок на конкретной линии.

Другой путь — разработка технологического процесса ГАП, позволяющего получать такие отливки в общем групповом потоке, не требующие кантовки форм.

Естественно, простое исключение операции кантовки путем размещения отливки в одной полуформе вертикально мало реаль-

ный вариант (на рис. 18.26, *в*). Основные недостатки его в сравнении с вариантом на рис. 18.26, *б* следующие:

• чтобы извлечь отливку из формы, ее наружную поверхность придется делать гладкой, т.е. увеличивается объем механической обработки;

• чтобы извлекалась прибыль при формовке, она должна быть цилиндрической, т.е. неоптимальной формы и, следовательно, иметь бóльшие объем и высоту;

• могут потребоваться очень высокие опоки для верхней полуформы, что усложнит операцию качественного уплотнения формы;

• длинный с маленьким нижним знаком стержень трудно правильно установить при сборке формы.

Видоизмененный вариант, показанный на рис. 18.26, *г*, лишен указанных выше недостатков:

• отливка формуется в вертикальном положении с разъемом примерно посередине, что резко уменьшает высоту необходимых опок;

• в нижней полуформе отливка оформляется стержнем Ст-2, который позволяет сохранить ее конфигурацию, как на рис. 18.26, *б*. Этот же стержень позволяет осуществить плавную заливку формы снизу;

• центральный стержень Ст-1 значительно короче и имеет массивный стержневой знак;

• прибыль с атмосферным давлением оптимальной формы за счет отсутствия в ней центрального стержня меньше и действует эффективнее, чем указанная на рис. 18.26, *в*.

Недостаток варианта — дополнительный стержень. Но на участок сборки АФЛ поступает один стержень как и в варианте рис. 18.26, *б*, так как стержень Ст-1 предварительно вклеивают в стержень Ст-2 в стержневом отделении.

Таким образом, получается технология, пригодная для гибкого автоматизированного производства на автоматизированной формовочной линии по сформулированным выше параметрам (возможность автоматизации, изначальная надежность).

При использовании любого способа литья в гибком автоматизированном производстве тремя важнейшими условиями быстрой переналадки технологического комплекса на производство новой отливки являются минимальные затраты труда, материалов и времени: 1) на проектирование и изготовление новой оснастки; 2) на отладку технологического процесса по новой оснастке; 3) на смену оснастки и изменение, если необходимо, технологических режимов при переходе на выпуск новых отливок.

Основой сокращения цикла подготовки производства, снижения стоимости оснастки является унификация элементов конструкции оснастки, ее нормализация. Проще всего это полностью

реализуется на таких универсальных видах оснастки, как опоки, стержневые и модельные плиты, спутники для транспортировки модельных плит, форм и т.д., используемых в технологических потоках изготовления определенных групп отливок. Те же требования для формообразующей модельной оснастки можно реализовать лишь частично, например, для унифицированных стержневых ящиков.

Конструкция таких ящиков может состоять из одного или двух, если ящик разъемный, унифицированных корпусов с элементами установки и крепления на стержневой машине и сменных элементов — вкладышей, вставок, определяющих геометрию стержня.

Эксплуатируемые длительное время для разных отливок универсальные виды оснастки и унифицированные элементы формообразующей модельной оснастки, безусловно, целесообразно изготовлять из долговечного материала — металла.

Для формообразующих видов и элементов оснастки мелкосерийного производства выбор материала представляет довольно сложную задачу. Известно, что применение металлической модельной оснастки вместо деревянной повышает точность отливок. Однако и стоимость такой оснастки возрастает пропорционально ее стойкости. Например, для отливок массой 10...20 кг при машинной формовке стойкость алюминиевых моделей составляет около 50 тыс. съемов, при использовании чугунных моделей их стойкость около 100 тыс., для моделей из стали — более 150 тыс., а для деревянных — всего 0,5 тыс. съемов. При мелкосерийном производстве стойкость металлических моделей оказывается реализованной незначительно, и себестоимость отливок может заметно возрасти. Поэтому во всех случаях необходим экономический анализ. Опыт работы бывшего завода «Станколит» показывает, что применение металлических моделей можно считать оправданным, если стоимость одного модельного комплекта равна стоимости всех необходимых для серии деревянных модельных комплектов, включая их текущий ремонт. При таком расчете металлические модели становятся целесообразными для отливок средней сложности массой 10...20 кг уже при их годовом выпуске 800—850 шт.

При меньшей серийности в качестве материала моделей можно рекомендовать более дешевую, чем металл, пластмассу, также обеспечивающую более высокую точность отливок в сравнении с деревом. В единичном механизированном производстве форм применяют и деревянные модели, что сопряжено с ограничениями на использование некоторых видов уплотнения форм, например, прессования с высокими давлениями из-за низкого модуля упругости и возможных деформаций дерева при формовке или упрочнения форм, стержней в горячей оснастке.

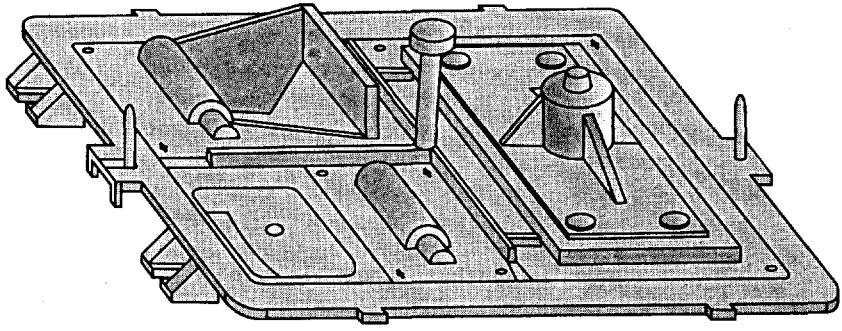
Выбор материала формообразующей оснастки в конкретном случае должен быть с учетом трудоемкости и длительности про-

цесса ее изготовления. Например, использование для простых некрупных металлических моделей стандартного металлопроката вместо литых заготовок сокращает срок их изготовления.

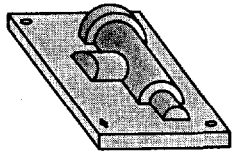
Особые перспективы по сокращению сроков изготовления сложной формообразующей оснастки и автоматизации этого процесса связаны с разрабатываемыми методами ее получения лазерной стереолитографией из фотополимерных материалов (см. подразд. 4.4).

Резервом эффективности гибкого автоматизированного производства является минимизация затрат на отладку оснастки. Это условие может быть реализовано при использовании изначально надежных технологических процессов и за счет повышения геометрической точности изготовляемой оснастки, что требует, в частности при проектировании технологического процесса, повышения надежности назначения линейной усадки отливок в разных направлениях, припусков на обработку, размеров стержневых знаков и зазоров в них и т.п.

И, наконец, рассмотрим последнее условие — минимизация затрат и времени на смену оснастки и переналадку процесса. При литье в песчаные формы в мелкосерийном производстве для быстрой и точной установки и смены моделей на модельных плитах используют координатные, кассетные и другие конструкции модельных плит. Для мелкосерийного гибкого автоматизированного



а



б

ис. 18.27. Модельная плита (*а*) с быстросменными вставками (*б*) по ГОСТ 12.2.003—91, ГОСТ 12.1.019—79, ГОСТ 12.1.003—83

производства наиболее пригодны кассетные секционные плиты со сменными вкладышами типа плит по ГОСТ 24611—81, но с дополнительными дорожками для автоматического перемещения и необходимыми элементами для автоматической замены плит на формовочных блоках. Комплект кассетной модельной плиты состоит из рамы, и сменных вкладышей, которые центрируются и крепятся в раме. Для обычных разъемных моделей используются кассетные плиты с мелкими вставками высотой 35...40 мм. Если конфигурация модели предусматривает образование песчаного болвана выше плоскости разъема при формовке (модель-фальшивка), то используются плиты с глубокими вставками (до 300 мм). Модельная плита с быстросменными вставками приведена на рис. 18.27.

Особая проблема возникает при разработке компоновки модельных плит для гибкого автоматизированного производства в случаях мелких серий небольших отливок. Когда изготовление нескольких одинаковых моделей экономически нецелесообразно, повысить эффективность использования автоматизированных формовочных линий можно лишь размещая на одной модельной плите модели отливок разных наименований, т.е. осуществляя разнородный принцип монтажа моделей (при этом на каждой модельной вставке целесообразно размещать одну модель).

В отличие от более предпочтительного организационно и технически однородного принципа, обычно используемого в массовом и крупносерийном производстве, в данном случае необходимо выполнение следующих требований:

- отливки, модели которых размещаются на одной модельной плите, должны изготовляться из одинакового сплава;
- желательно, чтобы отливки имели одинаковую серийность;
- целесообразно подбирать отливки с одной и той же средней металлоемкостью формы;
- конфигурация моделей на плите должна обеспечивать получение качественной формы при одинаковых свойствах формовочной смеси и режимах уплотнения или упрочнения.

Если для первых трех условий не требуются дополнительные пояснения, то для последнего они необходимы.

Анализ работы современных автоматизированных формовочных линий в крупносерийном производстве показывает, что чем разнороднее по конфигурации номенклатура отливок, производимых на одной линии, тем более высокий уровень брака отливок на ней по вине дефектов формы — «обвал», «нарост», песчаные раковины и т.д. Связано это с тем, что обычно все формы на линии изготовляются с использованием практически одинаковых свойств формовочной смеси и режимов уплотнения, которые не для каждого наименования отливки оказываются одинаково оптимальными.

Следовательно, подбирая отливки на одну модельную плиту из разнородной по геометрии группы отливок, важно оценить сложность моделей с учетом их совместимости для получения качественной формы. В одной форме следует размещать отливки с одинаковыми или близкими объективными показателями сложности их моделей и для таких форм назначать затем оптимальные режимы изготовления.

В то же время установлено, что ни один из известных простых показателей оценки сложности отливки (например, коэффициенты массивности, компактности, приведенный размер), взятый в отдельности, не имеет необходимого уровня корреляционной связи с величиной брака отливок, определяемого качеством изготовления литейной формы. На возникновение таких дефектов оказывают влияние геометрические характеристики модели и отливки, расположение модели на плите и форме, плотность монтажа и т.д.

Уменьшить трудоемкость изменения монтажа секционных модельных плит и изготовления оснастки можно путем унификации элементов литниковой системы.

Например, для обычных литниковых сужающихся (запертых) систем отливка с питателем, сечение которого обеспечивает необходимое время ее заполнения, располагается на секционной вставке. Унифицированные же по конфигурации и размерам шлакоуловитель и стояк крепятся постоянно на прижимных разделительных планках.

Возможны три принципиально различных положения стояка на модельной плите: одно в центре плиты и два посередине большой или малой стороны плиты. В конкретных условиях с учетом номенклатуры отливок целесообразных положений стояка может быть и меньше. Формы шлакоуловителей должны соответствовать схемам расположения планок на плите.

И, наконец, возможность быстрой, а тем более автоматической смены модельной плиты при формовке обусловлена не только ее конструкцией, но и типом применяемого оборудования. Так, например, на многопозиционном формовочном агрегате можно организовать автоматическую замену оснастки в цикле работы без его остановки. Еще проще этот процесс реализовать в формовочных комплексах, работающих по принципу «скользящей оснастки» без ее постоянного нахождения на какой-либо позиции.

Задачи проектирования, изложенные выше, рассмотрены для разработки технологического процесса изготовления отливок мелких серий в гибком автоматизированном производстве. При этом лишь отдельные решения (например, на некоторых предприятиях разработаны типовые технологии изготовления мелкосерийных отливок) используются на практике.

18.7. САПР ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК В СЫРЫХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМАХ

Общий цикл проектирования и изготовления отливки в массовом производстве с применением ЭВМ состоит из следующих этапов:

- конструирование детали;
- разработка технологии изготовления отливки;
- проектирование модельно-стержневой оснастки;
- изготовление моделей по технологии послойного прототипирования (см. подразд. 4.4);
- производство опытной партии отливок и ее обследование;
- корректировка чертежей модельной оснастки;
- изготовление оснастки на станках с ЧПУ и собственно производство отливок.

Каждый из названных этапов уже применяется в реальном производстве, кроме этапа разработки технологии изготовления отливки. Анализ справочной литературы показал, что некоторые рекомендации по проектированию этого этапа неоднозначны, противоречивы и мало пригодны для использования на ЭВМ. Поэтому далее изложены результаты обобщения технологических знаний и создания САПР технологии литья в сырые песчано-глинистые формы.

Следует отметить, что некоторые вопросы проектирования не поддаются строгой формализации. К ним можно отнести: выбор плоскости разъема и места подвода металла, размещение моделей на модельной плите и т.п. Для работы на ЭВМ в этих случаях созданы алгоритмы, позволяющие технологу-литейщику в диалоговом режиме выбрать необходимое решение. При этом приобретенный на практике опыт используют для проверки правильности принятого решения.

По другим вопросам проектирования может быть осуществлена формализация, но с некоторой доработкой при создании алгоритмов и программ для ЭВМ. Это относится к расчету литниковых систем, прибылей, определению параметров знаков стержней и зазоров, радиусов сопряжений стенок отливки, минимальных литых отверстий.

Специалистами ЗАО «Литаформ», НИИТавтопром и МГТУ МАМИ совместно разработан пакет прикладных программ (ППП) ТОТЛ-1, который включает следующие назначения: параметры точности отливки (классы точности размеров, массы, степеней коробления и точности поверхности, допусков смещения по плоскости разъема, ряда припусков), а также допусков, припусков на механическую обработку, формовочных уклонов и припусков на усадку при проектировании модельно-стержневой оснастки.

Параметры точности отливки нормируются ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.). В приведенных в стандарте рекомендациях указаны остаточно широкие интервалы этих параметров. В ППП ТОТЛ-1 араметры точности определяются в диалоговом режиме однозначо, с учетом многих факторов, включая культуру производства.

При назначении припусков на механическую обработку поерхностей по ГОСТ 26645—85 (изм. № 1, 1989 г.) требуется, тобы на чертеже детали были проставлены технологические базы, т правильности выбора которых в значительной мере зависят трудоемкость и производительность. В сложившейся практике базы бработки на чертеже детали часто не указывают, не известен акже бывает и технологический процесс обработки. Поэтому проедено обобщение, позволяющее технологу-литейщику без специальной технологической подготовки назначать черновые базы еханической обработки и, следовательно, определять припуски а обработку.

Формовочные уклоны назначают по системе, описанной в подзд. 2.4. В настоящее время линейную усадку отливок при проектировании модельно-стержневой оснастки для изготовления песчано-глинистых форм часто принимают одинаковой, например % для отливок из чугуна СЧ. На основе сведений, изложенных подразд. 15.5.1, разработана программа, входящая в ППП ТОТЛ-1 позволяющая рассчитывать припуск на неодиниковую процентую линейную усадку для разных размеров и определять исполнительные размеры модельно-стержневой оснастки.

Для установления возможности формирования внутренних поерхностей отливки болванами использовали сведения, приведенные в подразд. 2.6, а для назначения литейных радиусов, радиусов пряжения стенок и отбуртовок использовали сведения, изложенные в подразд. 2.2 и 2.3. В графическом пакете разработаны оцедуры для автоматизированного нанесения радиусов и формовочных уклонов.

При расчете литниковых систем использовали известные мето расчета. Однако они разработаны в основном для одинаковых ливок на модельной плите. В связи с тем, что в автомобильной омышленности в перспективе намечается уменьшить выпуск инаковых автомобилей (до 2000 шт.), для расчета литниковых истем на ЭВМ разработана методика для общего случая, когда модельной плите расположены разные отливки (главным обзом, разные по массе). При этом возможны различные комбиции — с прибылью и без нее, с реакционной камерой, центрежным шлакоуловителем, керамической сеткой, вертикальным горизонтальным дросселем и т. п.

В результате разработан комплекс пакетов прикладных проамм, который позволил создать САПР технологии изготовлея отливки в сырых песчано-глинистых формах (САПР «Отлив-

ка»). Работы по САПР выполнялись в тесном взаимодействии с разработчиками графического пакета T-FLEX CAD «Топ-Системы».

Особенностью САПР «Отливка» является возможность общения технолога-литейщика в диалоговом режиме с ЭВМ, окончательное решение в котором принимает технолог. Система функционирует в двух режимах — автономном и комплексном. В автономном режиме в работе задействован ППП ТОТЛ-1, посредством которого можно обращаться к каждому из восьми модулей, имея чертеж детали на столе перед ЭВМ. В комплексном режиме отмеченные модули «зашиты» в графический пакет T-FLEX CAD и при проектировании технологии чертеж детали выводится на экран монитора ЭВМ.

При работе в комплексном режиме соблюдается условная последовательность проектирования технологии отливки, однако при необходимости благодаря самостоятельности отдельных модулей их можно использовать в любой последовательности.

Любое проектирование технологии отливки начинается с оценки ее технологичности. В данном модуле параметры конструкции детали и требования к точности ее изготовления вводят в базу исходных данных, причем линейные размеры вводят непосредственно с чертежа детали.

При необходимости проверяют проливаемость отверстий, величины формовочных уклонов, линейных размеров, характеристики точности отливки, минимальную толщину стенки и т.д.

Это позволяет оценивать возможность изготовления отливки выбранным способом еще на предпроектной стадии. Процедура заканчивается распечаткой карты технологичности изделия, к которой может быть приложен графический чертеж возможных конструктивных изменений детали.

Для черновой проработки литейной технологии в модуле «чертеж отливки» заложены процедуры выбора плоскости разъема, различные для двухмерного (2*D*) и трехмерного (3*D*) проектирования. При объемном 3*D*-проектировании предусмотрена процедура вращения отливки в разных плоскостях, что облегчает выбор плоскости разъема. При этом средствами T-FLEX CAD легко снимается контур отливки в секущей плоскости, необходимый затем для проектирования модели и размещения ее на модельной плите. В этом же модуле определяются параметры точности отливки в комплексном режиме.

Все необходимые данные (габариты, минимальная толщина стенки в плоскости разъема и т.д.) берутся с чертежа детали, остальные автоматически — из исходных данных при обращении к процедуре «расчет характеристик» с помощью модуля выполнения следующих работ: назначить допуски и припуски дифференцированно на разные поверхности отливки (для соответствующих

точностных характеристик); выбрать черновые базы механической обработки; рассчитать число отливок в форме; назначить формовочные уклоны; определить линейные размеры; определить место подвода металла и затем разработать и оформить чертеж отливки в соответствии с требованиями ЕСКД. В этом модуле решена достаточно сложная задача замыкания контуров сечений отливки при нанесении припусков, линейной усадки и линейных размеров на чертеж детали в процедуре 2*D* и сглаживание поверхностей при объемном твердотельном моделировании (процедура 3*D*).

Для чистовой проработки технологии с помощью модуля «технология литейной формы» проводится выбор границ стержней, конструирование знаков стержней (расчет параметров знаков, уклонов, зазоров и охранных устройств), проверка формуемости полостей болванами. Чертеж литейной формы оформляется в 2*D*- и 3*D*-вариантах проектирования.

С помощью модуля «модельная оснастка» выполняют проектирование модели, дифференцированный расчет припусков на усадку модельной и стержневой оснастки, размещение моделей на плите с учетом трассировки литниковой системы. При организации размещения моделей (стержней) на плите (в стержневом ящике) используют ее (его) контур с учетом ограничений, за пределы которого не должны выходить контуры моделей (стержней). При этом предусмотрена процедура вращения контура модели на 360° для нахождения оптимального места подвода и питания отливки.

Окончательное оформление оснастки проводится после расчета элементов литниковой системы. В режиме 2*D* выдается техническое задание на модельную оснастку, в которое включены чертежи отливки, модели и стержня, а также технологии изготовления формы и размещения моделей (стержней) на плите (в стержневом ящике).

В модуле «расчет литниковой системы» по принятой схеме литниковой системы выполняется ее расчет, возможности которого отмечены выше. Кроме расчетных данных для сечений элементов литниковой системы, выводится графическое их изображение с линейными размерами.

Так называемый «блок затвердевания», моделирующий затвердевание отливки, в настоящей работе не рассматривается. Предполагается, что можно использовать один из известных блоков для оценки разработанной технологии, в частности, для оценки места подвода металла в форму, числа и размеров прибылей, технологических напусков, ребер и т.п.

В комплексе технических средств можно использовать сканер для ввода чертежа детали в ЭВМ с последующей векторизацией полученной после сканирования информации. Рекомендуемые типы ЭВМ, на которых функционирует САПР «Отливка»:

PC Pentium 4(5) и выше с RAM 8 МБ (для ОС MS DOS объем программы составляет 15 МБ на HDD) или Pentium 100 и выше с RAM 32 МБ (для ОС Windows 95/NT — 50 МБ).

Система САПР «Отливка» частично освоена на литейном заводе КамАЗа при изготовлении чугунных и стальных отливок. Проводятся работы по ее освоению на Рязанском приборостроительном заводе для получения отливок из алюминиевых сплавов в песчано-глинистых опочных и безопочных формах и литьем под давлением. Она используется в учебном процессе в курсовом и дипломном проектах и в дисциплине САПР технологии литейного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аксенов П. Н.* Оборудование литейных цехов. — М.: Машиностроение, 1977. — 510 с.

2. *Аксенов П. Н.* Технология литейного производства. — М.: Машгиз, 1957. — 664 с.

3. *Баландин Г. Ф.* Основы теории формирования отливки. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. — 486 с.

4. *Беляков А. И.* Основы расчета прибылей для отливок из чугунов // Технология литейного производства: Справ. прил. С. 1—13. (Инж. журнал. 2001. № 5).

5. *Берг П. П.* Формовочные материалы. — М.: Машгиз, 1963. — 407 с.

6. *Бородачев Н. А.* Точность производства в машиностроении и приборостроении. — М.: Машиностроение, 1973. — 430 с.

7. *Валисовский И. В., Медведев Я. И.* Технологические испытания формовочных материалов. — М.: Машиностроение, 1963. — 223 с.

8. *Василевский П. Ф.* Технология стального литья. — М.: Машиностроение, 1974. — 408 с.

9. *Васильев В. А., Сафонов А. И.* Технология послойного прототипирования для изготовления литых деталей // Литейное производство. 1999. № 7. С. 7—11.

10. Внутриформенное модифицирование. Расчет и конструирование литниковых систем: Методические указания / С. П. Дмитриев, Б. А. Матвеев, И. К. Вазиев, Ю. П. Щитков. — Набережные Челны: КамАЗ-Литейный завод, 1990. — 12 с.

11. *Воздвиженский В. М., Грачев В. А., Спасский В. В.* Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении: Учеб. пособие. — М.: Машиностроение, 1984. — 432 с.

12. *Воздвиженский В. М., Жуков А. А., Бастранов В. К.* Контроль качества отливок: Учеб. пособие. — М.: Машиностроение, 1990. — 240 с.

13. *Волкомич А. А., Трухов А. П., Сорокин Ю. А.* Формирование точности отливок: Учеб. пособие. — М.: МАМИ-ЛИТАФОМ, 1996. — 84 с.

14. *Воробьев Ю. А., Терентьев М. В., Рябов С. П.* Точность размеров и шероховатость поверхности отливок из цветных сплавов // Литейное производство. 1988. № 3. С. 9—10.

15. *Галдин Н. М., Чистяков В. В., Шатульский А. А.* Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. — М.: Машиностроение, 1992. — 256 с.

16. *Гини Э. Ч., Зарубин А. М.* Технологические основы ГАП отливок. — М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1989. — 19 с.

17. *Гиршович Н. Г.* Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. — М.; Л.: Машиностроение, 1966. — 562 с.

18. *Гуляев Б. Б., Корнюшкин О. А., Кузин А. В.* Формовочные процессы. — Л.: Машиностроение, 1987. — 264 с.

19. Допуски и посадки: Справочник: В 2-х т. / В.Д. Мягков, М.Л. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, 1982. — 300 с.

20. *Дубицкий Г.М.* Литниковые системы. — М.; Свердловск: Машгиз, 1962. — 256 с.

21. *Дунин-Барковский И.В., Смирнов Н.В.* Теория вероятностей и математическая статистика в технике. — М.: Гостехтеоретиздат, 1955. — 358 с.

22. *Жебин М.И., Сосненко М.Н.* Изготовление форм и приготовление литейных сплавов. — М.: Высш. шк., 1982. — 304 с.

23. *Жуковский С.С.* Прочность литейной формы. — М.: Машиностроение, 1989. — 286 с.

24. *Кваша Ф.С.* Стабилизация состава и свойств песчано-глинистых формовочных смесей: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МГИУ, 2003. — 108 с.

25. *Иоффе М.А., Боровский Ю.Ф., Яценко А.А.* Системный анализ техпроцессов литья // Литейное производство. 2000. № 1. С. 32 — 34.

26. *Ипатов А.А.* Точность окрашенных стержней // Литейное производство. 1984. № 1. С. 17 — 18.

27. *Константинов Л.С., Трухов А.П.* Напряжения деформации и трещины в отливках. — М.: Машиностроение, 1981. — 200 с.

28. *Ложичевский А.С.* Литейные металлические модели. — М.: Машиностроение, 1973. — 347 с.

29. Методика статистической обработки эмпирических данных: РТМ-44. — М.: Стандартгиз, 1963.

30. *Минаев А.А., Сазонов В.А.* Вакуумная формовка. — М.: Машиностроение, 1984. — 200 с.

31. *Митрофанов М.И.* Типизация в сталелитейном производстве. — М.: Машиностроение, 1987. — 136 с.

32. *Нестеров Б.А.* Типовые технологические процессы изготовления отливок. — М.; Свердловск: Машгиз, 1963. — 135 с.

33. *Орлов Г.М.* Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм. — М.: Машиностроение, 1988. — 264 с.

34. *Платонов Б.П.* Размерные расчеты литейной формы. — Горький: Волго-Вятское изд-во, 1970. — 120 с.

35. *Пржибыл Й.* Затвердевание и питание отливок / Пер. с чешск. — М.: Машгиз, 1957. — 287 с.

36. Прогрессивные материалы, процессы и оборудование для изготовления сырых разовых форм: Руководящий технический материал РТМ 37.002.0226—76. М.: НИИТавтопром, 1977. — 115 с.

37. *Рабинович Б.В.* Методы формообразования отливок (в песчано-глинистых формах) // Литейное производство. 2000. № 10. С. 19; № 11. С. 18.

38. *Рабинович Б.В.* Введение в литейную гидравлику. — М.: Машиностроение, 1966. — 450 с.

39. *Рубцов Н.Н.* История литейного производства в СССР. — М.: Машгиз, 1962. — 350 с.

40. *Спасский А.Г.* Основы литейного производства. — М.: Металлургиздат, 1950. — 318 с.

41. Справочник по чугунному литью / Под ред. Н.Г. Гиршовича. — М.; Л.: Машиностроение, 1978. — 758 с.

42. *Сорокин Ю.А., Максимов А.Д.* Технологическая модель и алгоритм назначения баз механической обработки для САПР чертежа отливки // Литейное производство. 1998. № 4. С. 36.

43. Технология внутриформенного модифицирования высокопрочных чугунов / С.Н.Леках, Н.И.Бестужев, В.И.Шмидт, И.В.Хорощко. — Минск: Изд. БелНИИНТИ, 1990. — 68 с.

44. Технологическая надежность автоматических формовочных линий / О.А.Беликов, Э.В.Харитонов, Э.Ф.Киян, А.Д.Прокопенко // Литейное производство. 1970. № 1. С. 1 — 4.

45. Технология литейного производства: Специальные методы литья / Ю.А.Степанов, Г.Ф.Баландин, В.А.Рыбкин и др. — М.: Машиностроение, 1983. — 287 с.

46. Технология литейного производства. В 2-х т. Т. 1 / П.Н.Аксенов, В.В.Балабин, Л.М.Мариенбах и др. — М.: Машгиз, 1946. — 488 с.

47. Технология литейного производства: Учебник / Б.С.Чуркин, Э.Б.Гофман, С.Г.Майзель и др.; Под ред. Б.С.Чуркина. — Екатеринбург.: Изд-во Ур. ГППУ, 2000. — 662 с.

48. *Тодоров Р.П., Пешев П.Ц.* Дефекты в отливках из черных сплавов. — М.: Машиностроение, 1984. — 84 с.

49. *Трухов А.П.* Усадочные явления в чугунных отливках. — М: Машиностроение, 1985. — 44 с.

50. *Трухов А.П.* Влияние колебаний температуры заливки металла и влажности формовочной смеси на количество освещения // Литейное производство в автомобилестроении: Сб. трудов. Вып. 1. — М.: Изд-во МАМИ, 1980. — С. 28—32.

51. Формовочные и стержневые смеси: Учеб. пособие / Под ред. С.С.Жуковского, А.Н.Болдина, А.И.Яковлева, А.Н.Поддубного, В.Л.Крохотина. — Брянск: Изд-во БГТУ, 2002. — 470 с.

52. Формовочные материалы и технология литейной формы: Справочник / Под. ред. С.С.Жуковского. — М.: Машиностроение, 1993. — 431 с.

53. *Шестопал В.М., Минаев А.А.* Изобретения в литейном производстве // Литейное производство. 1979. № 6. С. 1—2.

54. *Шуляк В.С., Рыбаков С.А., Григорян К.А.* Производство отливок по газифицируемым моделям: Инженерная монография. — М: Изд-во МГИУ, 2001. — 330 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Введение. Исторический очерк о развитии литейного производства 4
Глава 1. **Системный анализ технологических процессов изготовления отливок** 21
1.1. Технологический процесс изготовления отливок в песчано- глинистых формах 21
1.2. Системный анализ технологических процессов изготовления отливок. Примеры использования 22
Глава 2. **Технологичность литых деталей. Возможности их изготовления** 27
2.1. Сплав 27
2.2. Минимальная толщина стенки 28
2.3. Радиусы переходов и сопряжений стенок литых изделий 30
2.4. Литейные радиусы 33
2.5. Формовочные (литейные) уклоны 35
2.6. Минимальный диаметр литого отверстия 42
2.7. Оценка конструкционной технологичности литых деталей 44
2.7.1. Анализ технологичности с учетом возможных способов формообразования отливок 45
2.8. Точность отливки 57
2.9. Шероховатость поверхности отливок 58
2.10. Герметичность отливок 58
Глава 3. **Формовочные материалы, смеси и литейные формы** 59
3.1. Требования, предъявляемые к формовочным смесям и формам 59
3.2. Формовочные пески 61
3.2.1. Кварцевые пески 61
3.2.2. Классификация песков по ГОСТ 2138—91 62
3.2.3. Определение содержания глинистых составляющих 64
3.2.4. Определение среднего размера зерна и коэффициента однородности (ГОСТ 29234.3—91) 65
3.2.5. Область применения кварцевых песков 68
3.2.6. Некварцевые пески 68
3.3. Формовочные глины и песчано-глинистые смеси 71

3.3.1. Классификация глин 73
3.3.2. Активация глин 80
3.3.3. Способы введения глин в формовочную смесь 81
3.3.4. Специальные добавки в песчано-глинистые смеси 82
3.3.5. Песчано-глинистые смеси 82
3.4. Неглинистые связующие материалы и песчаные смеси с ними 107
3.4.1. Песчаные смеси с неорганическими связующими материалами 108
3.4.2. Песчаные смеси на органических связующих 117
3.5. Противопригарные добавки и покрытия литейных форм 133
3.6. Регенерация песков 137
3.7. Технологические свойства смесей 140

Глава 4. **Модельно-стержневая оснастка и опоки** 160
4.1. Модельно-стержневая оснастка 160
4.2. Деревянные модели и стержневые ящики 162
4.3. Металлические модели, модельные плиты и стержневые ящики 165
4.3.1. Металлические модели 165
4.3.2. Модели стояков, воронок и чаш 166
4.3.3. Модельные плиты 167
4.3.4. Стержневые ящики 171
4.3.5. Опоки 177
4.4. Технологии послойного прототипирования для изготовления моделей 180

Глава 5. **Методы упрочнения литейных форм и стержней** 183
5.1. Механические способы уплотнения 183
5.1.1. Прессование 184
5.1.2. Уплотнение встряхиванием 191
5.1.3. Уплотнение с помощью пескомета 194
5.1.4. Уплотнение пескодувным и пескострельным методами 196
5.1.5. Импульсное уплотнение 199
5.1.6. Прессово-ударное уплотнение 202
5.1.7. Уплотнение форм из самотвердеющих смесей 202
5.2. Тепловые способы упрочнения 202
5.2.1. Сушка форм и стержней горячими газами 204
5.2.2. Сушка инфракрасным излучением 206
5.2.3. Сушка токами высокой частоты 207
5.3. Химические способы упрочнения 207
5.4. Физические способы упрочнения 209
5.4.1. Вакуумно-пленочный способ изготовления формы 209
5.4.2. Литье по газифицируемым моделям 211

Глава 6. **Технология ручной формовки** 213

6.1. Формовочный инструмент 214
6.2. Формовка в почве (кессонах) 217
6.2.1. Формовка в мягкой постели 217
6.2.2. Формовка в твердой постели 220
6.3. Формовка в опоках по разъемной модели 222
6.4. Формовка в двух опоках с подрезкой 224
6.5. Формовка по модели с отъемными частями 225
6.6. Формовка с перекидным болваном 226
6.7. Формовка с подъемным болваном 228
6.8. Формовка с фальшивой опокой 229
6.9. Формовка в трех опоках 230
6.10. Формовка по шаблону 231
6.10.1. Формовка вращающимся шаблоном 231
6.10.2. Формовка протяжными шаблонами 233
6.11. Формовка в стержнях 234
6.12. Формовка по скелетным моделям 236

Глава 7. **Технология машинной формовки** 238
7.1. Опочная формовка 239
7.2. Безопочная формовка 242
7.3. Автоматизированная опочная и безопочная формовка 244

Глава 8. **Изготовление стержней** 246
8.1. Ручное изготовление стержней с конвективной сушкой 246
8.2. Машинное изготовление стержней с конвективной сушкой 250
8.3. Технология изготовления стержней по горячей оснастке 251
8.3.1. Бункерный способ изготовления оболочковых стержней 253
8.3.2. Пескодувный способ изготовления оболочковых стержней путем надува смеси 254
8.3.3. Центробежный способ изготовления оболочковых стержней 255
8.3.4. Кронинг-процесс 256
8.4. Изготовление стержней по холодной оснастке 257
8.5. Сборка, контроль и хранение стержней 258

Глава 9. **Протяжка моделей и стержневых ящиков** 260
9.1. Анализ усилий, действующих на формы при протяжке моделей 260
9.2. Конструктивные решения, обеспечивающие качественную протяжку моделей 262

Глава 10. **Сборка форм** 265
10.1. Установка стержней и контроль их положения 265
10.2. Сборка полуформ 267

10.3. Скрепление полуформ 268

Глава 11. **Заливка форм** 270
11.1. Разливочные ковши 270
11.2. Расчет емкости ковша 272
11.3. Расчет числа ковшей или заливочных устройств 273
11.4. Автоматизация заливки 275

Глава 12. **Выбивка отливок из форм** 277
12.1. Определение температуры и времени выбивки отливок и времени их охлаждения после выбивки . 277
12.2. Этапы выбивки отливок из форм 281
12.3. Вибрационная выбивка 281
12.4. Инерционная выбивка 282
12.5. Выбивка методом прошивания 283
12.6. Разделение смеси и отливок 285
12.7. Удаление стержней из отливок 287
12.7.1. Гидравлическая выбивка стержней 288
12.7.2. Электрогидравлическая выбивка стержней 289
12.8. Методы отделения литниковых систем от отливок 289
12.9. Очистка отливок от пригара и мелких заливов 290
12.9.1. Дробеметная очистка отливок 292
12.9.2. Дробеструйная очистка отливок 296
12.10. Специальные методы очистки 296
12.10.1. Электрохимическая очистка 296
12.10.2. Вибрационная очистка 298
12.11. Зачистка отливок 298

Глава 13. **Литниковые системы** 301
13.1. Конструкции литниковых систем 301
13.2. Расчет сужающихся литниковых систем 313
13.2.1. Определение площади питателя (узкого сечения) 313
13.2.2. Определение площадей сечений других, кроме питателя, элементов 317
13.2.3. Определение размеров сечений элементов литниковой системы 318
13.2.4. Определение площадей сечений и размеров других, кроме питателей и литниковых ходов, элементов литниковой системы 324
13.3. Расчет расширяющихся литниковых систем 328
13.4. Особенности расчета литниковых систем для отливок из алюминиевых и других сплавов, склонных к пленообразованию 329

Глава 14. **Получение плотных отливок** 333
14.1. Наружные холодильники 335
14.2. Внутренние холодильники 338
14.3. Технологический напуск 340
14.4. Конструкции прибылей 342

14.5. Расчет прибылей 351
14.5.1. Определение тепловых узлов 351
14.5.2. Определение числа прибылей 352
14.5.3. Расчет массы (объема) и размеров прибылей для отливок, изготовляемых в песчано-глинистых формах 357
14.5.4. Расчет холодильников 359

Глава 15. **Особенности взаимодействия отливки и формы** 360
15.1. Давление металла на форму и стержни 360
15.2. Расчет груза 363
15.3. Подутие отливок 364
15.4. Образование газовых раковин в отливках 366
15.5. Нагрев поверхностных слоев формы и связанные с этим явления 372
15.5.1. Неоднородность термического расширения сухой корки и влияние его на линейную усадку отливки 373
15.5.2. Ужимины 375
15.5.3. Образование трещин в безопочных формах с вертикальным разъемом 380

Глава 16. **Формирование точности отливок** 384
16.1. Основные понятия и терминология 384
16.2. Точность размеров 388
16.2.1. Особенности формирования точности размеров 388
16.2.2. Анализ факторов, влияющих на точность размеров 390
16.3.Точность формы и расположения элементов 402
16.4. Шероховатость и неровностность поверхностей отливок 406
16.4.1. Шероховатость поверхностей отливок 406
16.4.2. Неровностность поверхностей отливок 407
16.5. Точность массы отливок 408
16.6. Припуски на механическую обработку 409
16.6.1. Исходный литейный припуск 410
16.6.2. Параметр геометрической точности 412
16.6.3. Определение общего припуска 413
16.7. Пути повышения точности отливок 425
16.7.1. Стабилизация технологических параметров ... 426
16.7.2. Повышение геометрической точности отливок 427
16.7.3. Использование асимметричных допусков в размерах отливок 428
16.7.4. Уменьшение систематических погрешностей 429
16.7.5. Уменьшение припусков на обработку 430
16.8. Нормирование параметров точности 431
16.8.1. Принцип равной точности 431

16.8.2. Нормирование допусков размеров отливок 432
16.8.3. Нормирование допусков формы и расположения 437
16.8.4. Нормирование допусков неровностности поверхности 438
16.8.5. Нормирование допусков массы 439
16.9. Обобщенные параметры точности отливок 439
Глава 17. **Литейные дефекты и методы их контроля** 442
17.1. Классификация литейных дефектов 442
17.1.1. Первая группа дефектов — несоответствие по геометрии 442
17.1.2. Вторая группа дефектов — дефекты поверхности 444
17.1.3. Третья группа дефектов — несплошности в теле отливки 446
17.1.4. Четвертая группа дефектов — включения 447
17.1.5. Пятая группа дефектов — несоответствие по структуре 448
17.2. Контроль и аттестация точности отливок 449
17.2.1. Контроль точности 449
17.2.2. Методы и средства контроля 449
17.2.3. Определение объемов партии и выборки для проведения контроля точности размеров 453
17.2.4. Пример проведения контроля 454
17.2.5. Аттестация точности отливок 454
17.2.6. Аттестация и определение фактического класса точности размеров 455
17.2.7. Корректировка модельно-стержневой оснастки 456
17.3. Контроль чистоты поверхности 457
17.4. Контроль химического состава 458
17.4.1. Термографический контроль углеродного эквивалента 459
17.4.2. Спектральный контроль 460
17.5. Контроль герметичности 461
17.6. Контроль температуры 462
Глава 18. **Проектирование технологического процесса изготовления отливок** 466
18.1. Разработка чертежа отливки 468
18.1.1. Выбор баз механической обработки 468
18.1.2. Определение допусков и припусков на механическую обработку 470
18.2. Проектирование технологии литейной формы 475
18.2.1. Рекомендации по выбору положения отливки в форме и плоскости разъема 475
18.2.2. Формирование внешних и внутренних поверхностей отливок 479

18.3. Конструирование знаков стержней 481
18.3.1. Конструирование знаков стержней для опочной формовки 481
18.3.2. Особенности конструирования знаков стержней для безопочной формовки 487
18.4. Разработка технического задания на изготовление технологической оснастки (модельного комплекта) ... 490
18.5. Примеры разработки технологического процесса ... 491
18.6. Особенности проектирования технологического процесса гибкого автоматизированного производства отливок 494
18.7. САПР изготовления отливок в сырых песчано-глинистых формах 510
Список литературы 515

Учебное издание

Трухов Анатолий Павлович,
Сорокин Юрий Александрович,
Ершов Михаил Юрьевич,
Благонравов Борис Пантелеймонович,
Минаев Алексей Алексеевич,
Гини Энрико Чельсович

Технология литейного производства:
Литье в песчаные формы

Учебник

Редактор *Л. А. Левченкова*
Технический редактор *Н. И. Горбачева*
Компьютерная верстка: *Н. В. Протасова*
Корректоры *Е. В. Соловьева, С. Ю. Свиридова*

Изд. № А-1136-I. Подписано в печать 24.12.2004. Формат 60×90/16.
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Бумага тип. № 2. Усл. печ. л. 33,0.
Тираж 3000 экз. Заказ 14301.

Лицензия ИД № 02025 от 13.06.2000. Издательский центр «Академия».
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.11.953.Д.004796.07.04 от 20.07.2004.
117342, Москва, ул. Бутлерова, 17-Б, к. 328. Тел./факс: (095)334-8337, 330-1092.

Отпечатано на Саратовском полиграфическом комбинате.
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.