

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

В. П. МОЖАРИН

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Конспект лекций

Издательство
Томского политехнического университета
Томск 2008

Лекция 1

ВВЕДЕНИЕ

В машино- и приборостроении, строительстве и других отраслях народного хозяйства различные металлические изделия и заготовки получают обработкой давлением в горячем или холодном состоянии (пластической деформацией), резанием, прессованием порошков с последующим спеканием, сваркой и литьем.

Продуктом литейного производства является отливка, которая используется как литая заготовка, если в дальнейшем частично или полностью подвергается механической обработке, и в отдельных случаях 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, частичному изложению которого и посвящен данный курс лекций.

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.

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

Перспективность литейной технологии обусловливается также универсальностью, позволяющей получать изделия из сплавов практически любого состава, в том числе из труднодеформируемых, массой от нескольких граммов до сотен тонн, с размерами до десятков метров.

Теория и практика литейного производства на современном этапе позволяет получать изделия с высокими служебными свойствами. Свидетельством тому является надежная работа отливок в реактивных двигателях, атомных

энергетических установках, других машинах и установках ответственного назначения. В настоящее время в мире объем фасонных отливок из всех сплавов, полученный разными способами, составляет ~ 75 млн. т.

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 песчаные формы. Остальные способы литья относятся к специальным способам (видам). Определение специального способа (вида) литья также не сформулировано. Учитывая, что основная масса отливок изготавливается в песчаные формы курс лекций составлен на разбор технологии литья в песчаные формы.

В последние годы объем производства по массе стабилизировался. Основная тенденция развития заключается в росте качества отливок, повышении точности их размеров, снижении металлоемкости. Все это вместе взятое обеспечивает рост количества выпускаемых отливок.

Литейная технология может быть реализована различными способами. Последовательность технологического процесса получения отливок в разовой песчаной форме приведена на рис. 1. Весь цикл изготовления отливки состоит из ряда основных и вспомогательных операций, осуществляемых как параллельно, так и последовательно в различных отделениях литейного цеха. Модели, стержневые ящики и другую оснастку изготавливают, как правило, в модельных цехах.

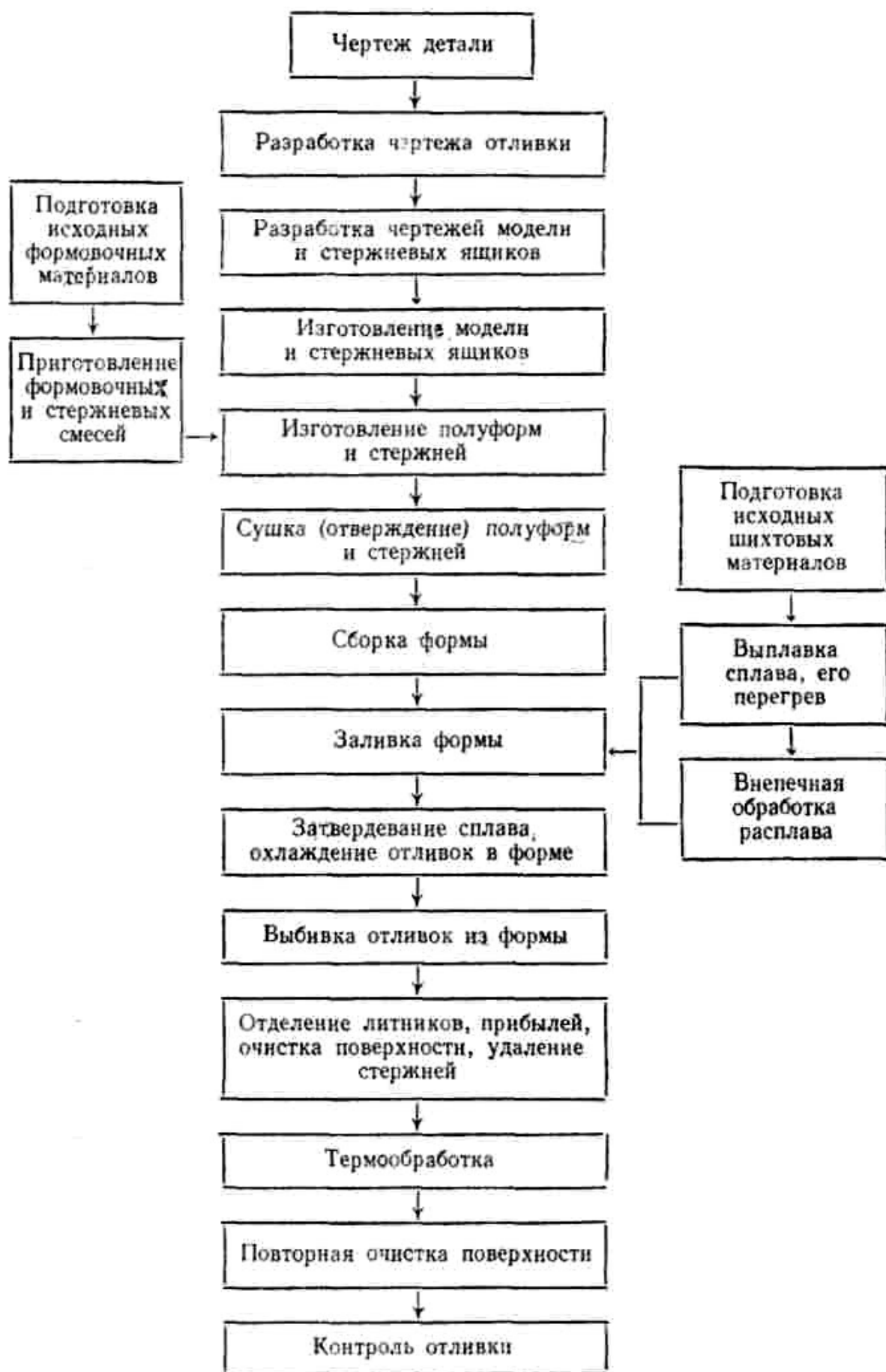


Рис. 1. Технологический процесс получения отливок в разовой песчаной форме

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

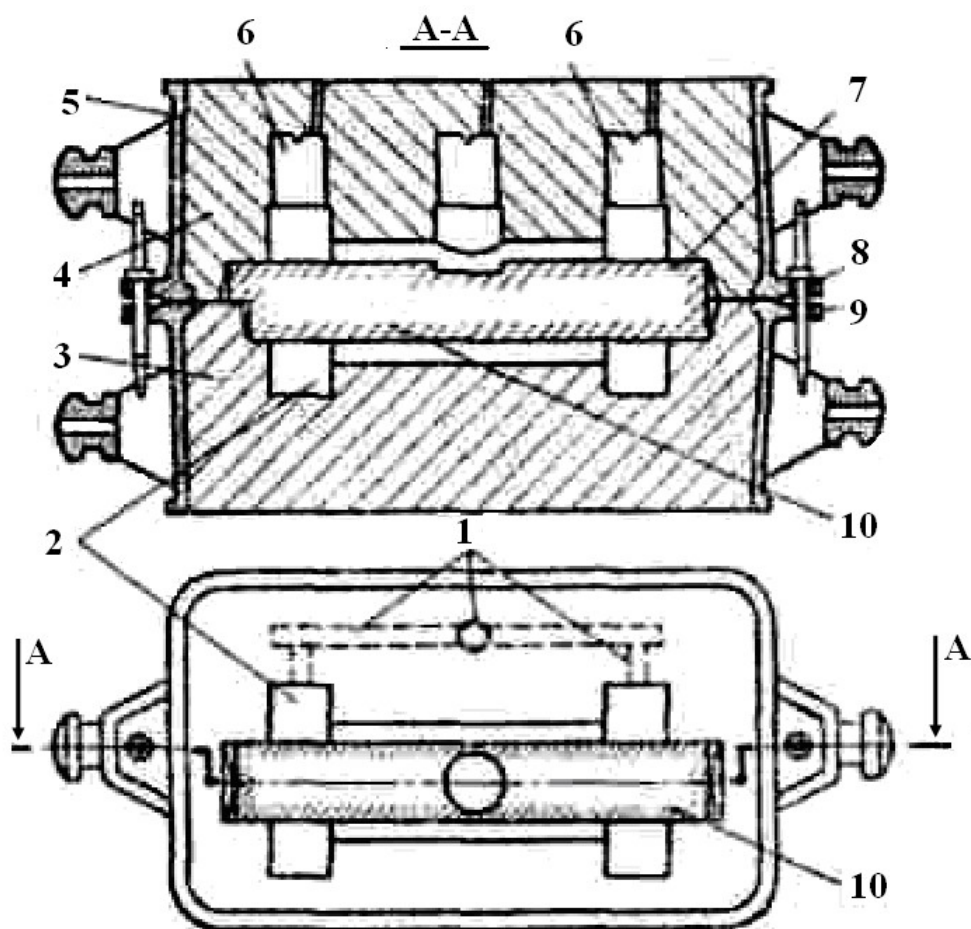


Рис. 2. Литейная разовая песчаная форма: 1 — литниковая система; 2 — полость формы; 3 — нижняя полуформа; 4 — верхняя полуформа; 5 — опока; 6 — прибыли; 7 — знаковая часть стержня; 8 — штырь; 9 — втулка; 10 — стержень

После уплотнения смеси модели собственно отливки, литниковой системы и прибылей извлекают из полуформ. Затем в нижнюю полуформу 3 устанавливают стержень 10 и накрывают верхней полуформой. Необходимая

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

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

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

Лекция 2

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1. МОДЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Основную массу фасонных отливок из различных литейных сплавов изготавливают в разовых песчаных формах. Для получения таких форм используют специальную модельно-опочную оснастку, необходимую для получения частей формы, стержней и их сборки. Комплект модельно-опочной оснастки включает: модели и модельные плиты для изготовления по ним частей формы, стержневые ящики для изготовления стержней, вентиляционные плиты для образования вентиляционных каналов в стержнях, плоские и фигурные (драйеры) сушильные плиты для сушки стержней, опоки, приспособления для контроля формы в процессе сборки, а также холодильники, штыри для соединения опок и другой инструмент.

На заводах с массовым и крупносерийным производством изготовлением модельно-опочной оснастки, начиная с проектирования и заканчивая сдачей в литейный цех, занимается специальный модельный цех. Первым этапом подготовки производства модельной оснастки является проектирование модельного комплекта с последующей разработкой рабочих чертежей на все элементы модельной оснастки и необходимой технологической документации. Модельный комплект проектируют на основании технического задания (технологической карты отливки) и данных об имеющемся в литейном цехе оборудовании. Проектирует модельный комплект конструктор-модельщик в тесном контакте с технологами литейного и модельного цехов.

При формовке по шаблону, которую применяют в условиях единичного или мелкосерийного производства для крупных отливок, имеющих конфигурацию тел вращения, модели, а иногда и стержневые ящики не изготавливают. Форму выполняют с помощью деревянных шаблонов. При этом сокращается число объектов модельно-опочной оснастки и ее стоимость. Себестоимость модельного комплекта по сравнению с общей себестоимостью отливки весьма значительна. Снижение трудоемкости изготовления модельной оснастки идет по пути внедрения новых технологических процессов, повышения уровня механизации и автоматизации труда, более широкого использования металлической оснастки вместо деревянной, применения моделей из пенополистирола и т. д.

1.1.1. МОДЕЛИ И МОДЕЛЬНЫЕ ПЛИТЫ

Моделями называют приспособления, предназначенные для получения в литейных формах полостей, конфигурация которых соответствует изготавливаемым отливкам. Модель отличается по конфигурации и размерам от

получаемой по ней отливки. В зависимости от конструкции отливки она может быть неразъемной и разъемной, состоящей из двух и более частей. Модель снабжают специальными выступающими частями—знаками. Они образуют в форме углубления, предназначенные для установки и фиксирования стержня. Для облегчения извлечения модели из формы их вертикальные стенки выполняются с формовочными уклонами, величина которых зависит от высоты стенки, материала модели и способа изготовления отливки.

В соответствии с чертежом отливки на модели предусматривают припуски на механическую обработку отливки. Размеры модели должны быть больше размеров отливки на величину литейной усадки. Модель должна быть легкой, но достаточно жесткой, что особенно важно при изготовлении полуформ на прессовых машинах. Для машинной формовки модели монтируют на специальных плитах, которые называют *модельными плитами*. Каждая модельная плита состоит из плиты и расположенных на ней моделей отливок, литниковой системы, штырей и т. д. Модельные плиты могут быть односторонними и двусторонними, наборными и цельнолитыми. На односторонних плитах модели располагают только на одной верхней стороне, которую называют рабочей. На двусторонних плитах обе стороны являются рабочими и на них располагают половины модели. Последние применяют только при безопочной формовке. Наборная плита состоит из плиты и прикрепленных к ней нескольких частей модели и других деталей. Цельнолитую модельную плиту изготавливают заодно с половиной модели.

Деревянные модели и модельные плиты применяют при единичном и мелкосерийном производстве мелких и средних отливок. В зависимости от предъявляемых требований их подразделяют на три класса прочности. Деревянные модели изготавливают трех классов точности в соответствии с тремя классами прочности отливок.

Модельные комплекты первого класса прочности предназначены для длительного использования, второго класса — для периодического использования, третьего класса — для единичного производства неотчетливых, несложных отливок. Для изготовления моделей первого класса прочности используют заготовки, тщательно склеенные из тонких брусков с учетом направления годовичных колец, с тем чтобы полностью предупредить коробление модели. Для моделей второго класса прочности заготовки склеивают менее тщательно, используя меньшее число брусков; для моделей третьего класса прочности заготовки склеивают из более толстых кусков. Отдельные части модели допускается делать из целого куска. Прочная модель лучше сохраняет свою точность. Поэтому модельные комплекты первого класса прочности изготавливают по I классу точности, второго класса прочности — по I и II классам точности, а третьего — по III классу точности. Дерево является распространенным и недорогим материалом. Оно имеет малую плотность, легко обрабатывается, после чего получается гладкая, чистая поверхность. Недостатки дерева — гигроскопичность, возможность коробления, неоднородность строения и для некоторых пород недостаточная прочность и износостойкость. Для устранения коробления модели покрывают

лаками и красками. Формовочные уклоны деревянных моделей составляют 1—3°; чем выше модель, тем меньше формовочные уклоны. Уклоны на внутренних поверхностях модели делают больше, чем на наружных. Места соединения литейной формы со стержнем, называемые *знаковыми частями*, должны обеспечивать вполне определенное и устойчивое положение стержней в форме, поэтому знаковые части часто снабжают фиксаторами (рис. 16).

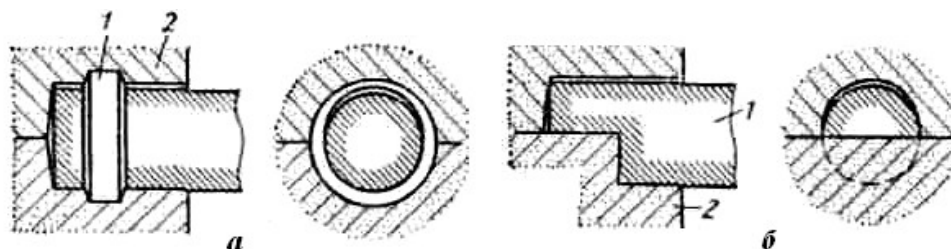


Рис. 16. Стержневые фиксаторы: *а* — кольцевой, предотвращающий перемещение стержня в осевом направлении; *б* — с одним срезом, предотвращающий вращение стержня и перемещение в осевом направлении; 1 — стержень; 2 — форма

Размеры и элементы стержневых знаков регламентируются ГОСТ 3606 и выбираются в зависимости от конструкции отливки и технологии изготовления формы. Между знаками формы и знаками стержней предусматривают зазоры, величина которых также выбирается по ГОСТ 3606 и зависит от размеров знаков и класса точности отливки.

При машинной формовке в условиях единичного и мелкосерийного производства, когда требуется быстрая смена модели на формовочных машинах, применяют специальную модельную оснастку в виде координатных плит (рис. 17) или плит со сменными вкладышами.

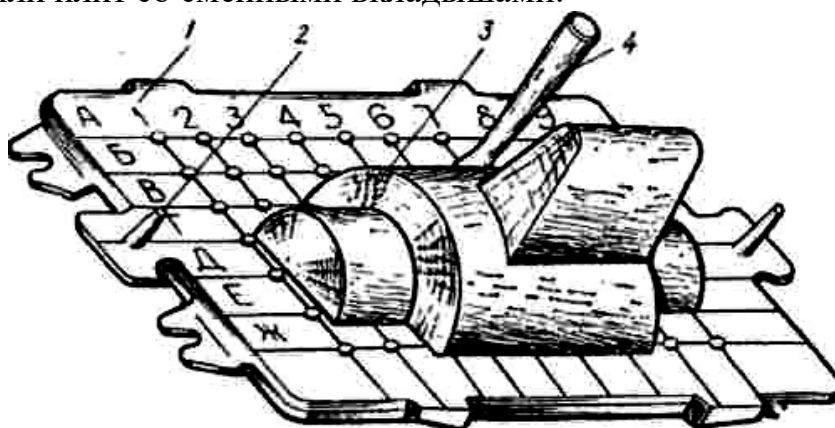


Рис. 17. Координатная модельная плита: 1 — плита; 2 — штырь; 3 — верхняя половина модели отливки; 4 — модель стояка

На рабочей стороне плиты нанесена сетка прямых линий, в точках пересечения которых просверливают отверстия, каждое из них имеет свой шифр. У каждого штифта полумодели проставлен шифр отверстия в модельной плите, в которое он должен быть вставлен. Это позволяет быстро произвести на

машине замену одних полумоделей другими.

В массовом и крупносерийном производстве применять быстросменные модели нет необходимости, так как смена моделей производится редко и большей частью в перерыве между рабочими сменами.

Наиболее часто в модельном производстве используют сосну, ольху, бук, липу, ясень. Из сосны изготавливают средние и крупные модели. Сосна является самым дешевым материалом, легко обрабатывается, не склонна к загниванию. Из ольхи делают средние и мелкие модели, непрерывно находящиеся в работе. Обработанная поверхность получается гладкой. Бук и ясень применяют для изготовления особо прочных моделей. Липа относится к породам деревьев, древесина которых не обладает большой твердостью. Из нее изготавливают модели, предназначенные для получения небольшого числа отливок.

Процесс изготовления деревянной модели или стержневого ящика складывается из следующих операций: выполнение в натуральную величину чертежа модели со знаковыми частями и т. п.; изготовление заготовок, их обработка (фрезерование, шлифование и пр.); сборка частей модели (склеиванием с помощью шпунтовых или шиповых соединений и пр.); контроль, приемка и окраска модели.

Модели красят масляной краской, затем покрывают щелочным лаком с целью получения гладкой рабочей поверхности и предохранения ее от воздействия влаги атмосферы и формовочной смеси. Окраску и маркировку проводят в соответствии с ГОСТ 2413. Для чугунного литья используют модели красного цвета, для стального — серого, для цветного — желтого. Стержневые знаки и другие не соприкасающиеся с металлом части окрашивают в черный цвет.

На рис. 18 показана деревянная разъемная модель.

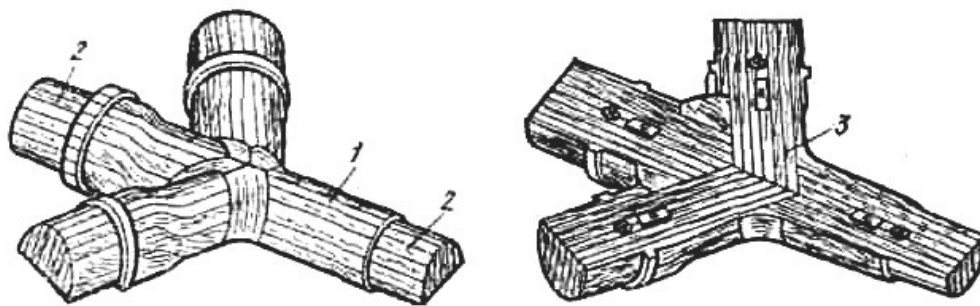


Рис. 18. Деревянная модель: 1 — верхняя половина модели; 2 — знаковые части; 3 — нижняя половина модели

Металлические модели и плиты используются в основном в условиях крупносерийного и массового производства отливок. По сравнению с деревянными металлические модели имеют следующие преимущества: долговечность, большую точность и более гладкую рабочую поверхность. Их используют при машинной формовке, которая предъявляет определенные требования к конструкции и качеству модельной оснастки. Конструкция моделей, предназначенных для машинной формовки, должна быть максимально упрощена, даже за счет увеличения числа стержней. Это требует повышения точности моделей, центрирования отдельных элементов и узлов

оснастки, а также надежности крепления их на модельных плитах. Материалами для металлических моделей и плит служат алюминиевые сплавы, чугун, сталь, бронза и латунь. Алюминиевые модели и плиты имеют малую массу, легко поддаются механической обработке и удобны в работе. Они не окисляются, после обработки приобретают гладкую поверхность. Недостатком алюминиевых моделей является их низкая прочность и малая износостойкость, что особенно сказывается в массовом производстве. Для не очень ответственных моделей используют сплавы АЛ24, АЛ26, для сложных и ответственных — АЛ22, АЛ28.

Чугунные модели прочны, дешевы, хорошо обрабатываются и после обработки имеют гладкую рабочую поверхность. Износостойкость чугуна значительно выше, чем алюминиевых сплавов. Недостатки чугунных моделей: большая масса и окисляемость. Для изготовления оснастки используют чугуны марок СЧ 15, СЧ 20.

Стальные модели и плиты отличаются высокой прочностью и износостойкостью. Для их изготовления используются стали марок 15Л—45Л, а также стальной прокат различного сортамента.

Бронзовые и латунные модели после обработки имеют очень гладкую поверхность, не окисляются; получаемый с их помощью отпечаток является наилучшим по качеству. Они более коррозионностойкие, чем чугунные и стальные модели, но значительно тяжелее их. Их применяют сравнительно редко для изготовления небольших сложных отливок высокой точности и с повышенным качеством поверхности.

Легкими и жесткими являются облегченные модели — пустотелые, снабженные для жесткости ребрами, расположенными по внутренней полости.

Формовочные уклоны на металлических моделях делают меньше $0,5—1^\circ$ вследствие того, что рабочие поверхности модели получаются более гладкими. Кроме того, металлические модели, как правило, применяют для машинной формовки, когда извлечение их из полуформ производится специальным механизмом.

Конструкция модельной плиты зависит главным образом от типа машины, на которой будет изготавливаться полуформа, конструкции отливки, получаемой поданному модельному комплекту, и вида формы. Применяют модельные плиты трех разновидностей: для опочной формовки, для безопочной формовки и для изготовления оболочковых полуформ. Модельные плиты (рис. 19) снабжают специальными лапками или приливами для крепления к столу машины. Для фиксирования, опоки, на плите они имеют минимум два штыря: один круглый — центрирующий; второй квадратный — направляющий. Центрирующий штырь предохраняет опоку от смещений в горизонтальном направлении, а направляющий — от смещений относительно поперечной оси плиты.

Процесс изготовления металлических моделей складывается из следующих операций: вычерчивание чертежа металлической модели; изготовление деревянной модели, предназначенной для получения металлической заготовки модели; литье металлической заготовки модели; ее механическая обработка; монтаж металлической модели на модельной плите; контроль и приемка

металлической модельной оснастки.

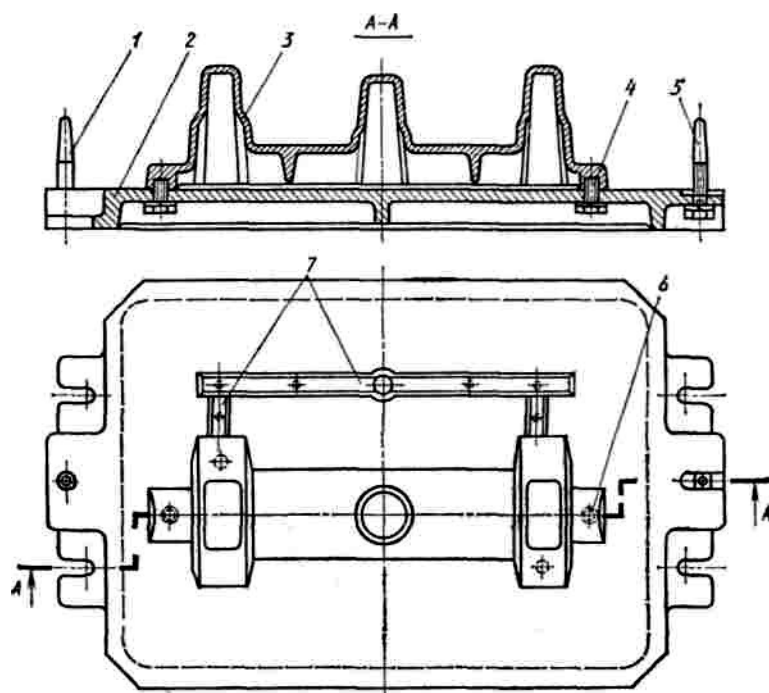


Рис. 19, Расположение моделей отливки и литниковой системы на модельной плите: 1 — штырь центрирующий; 2 — модельная плита; 3 — верхняя половина модели; 4 — крепежный болт; 5 — штырь направляющий; 6 — контрольный штифт; 7 — модели литниковой системы

Размеры деревянной модели (промоделей) для получения отливок металлических моделей увеличены в расчете на двойную усадку: сплава модели и сплава отливки. Промодель выполняется также с учетом припусков на обработку металлической модели. Литую металлическую модель подвергают тщательной механической обработке по рабочей поверхности, а также по поверхностям соприкосновения с модельной плитой. Затем обработанную модель монтируют на модельной плите.

Крепление половин моделей к плитам осуществляется винтами или болтами с нижней стороны плиты. В том случае, если половины моделей низкие; их крепят винтами сверху. Число и размеры винтов и болтов определяют в зависимости от формы и средних размеров половин модели.

Пластмассовые модели. Все более широкое применение находит в настоящее время модельная и стержневая оснастка из пластических масс. Подобная оснастка, сочетая преимущества деревянной и металлической, обладает малой массой, высокой точностью и прочностью, не подвержена короблению, разбуханию, коррозии при хранении и эксплуатации и позволяет точно воспроизводить контуры модели при формовке.

Вследствие сокращения расхода металла, снижения трудоемкости изготовления, уменьшения потребности в оборудовании и производственных площадях за счет резкого сокращения объема механической обработки и

доводочных операций применение пластмассовой оснастки очень эффективно. Для изготовления оснастки применяют термореактивные пластические массы на основе эпоксидных или фенолформальдегидных смол, стиракрил ТШ или акрилат АСТ-Т. Сначала изготавливают гипсовую мастер-модель с учетом усадки пластмассы и металла отливки. По мастер-модели делают гипсовую форму, которую заливают жидкой пластмассой. Готовую пластмассовую модель извлекают из формы и подвергают механической обработке. Крупные модели делают пустотелыми, мелкие — монолитными.

Значительное распространение получило литье по моделям из пенополистирола. Применение этого способа упрощает процесс изготовления отливок, позволяет получать заготовки повышенной точности, приближающиеся по размерам и конфигурации к готовым деталям.

В условиях единичного производства модель изготавливают путем механической обработки стандартных плит и блоков из пенополистирола. Модель представляет собой копию отливаемой детали и отличается от нее припусками на механическую обработку. В условиях крупносерийного и массового производства модели получают в пресс-формах путем тепловой обработки гранул полистирола.

В качестве исходного сырья используют бисерный пенополистирол ПС-Б марки А. Вначале гранулированный (так называемый бисерный) полистирол подвергают предварительной тепловой обработке (предварительному вспениванию), затем вспененным полистиролом заполняют пресс-форму на специальных машинах. Пенополистирол точно воспроизводит конфигурацию рабочих полостей пресс-формы. Готовая модель поступает на формовку.

1.1.2. СТЕРЖНЕВЫЕ ЯЩИКИ

Конструкция стержневого ящика зависит от формы и размеров стержня и способа его изготовления. По конструкции стержневые ящики подразделяют на неразъемные (вытряхные) и разъемные, которые для удаления из них стержня разбираются на две или больше частей.

Каждому стержневому ящику этих типов соответствует определенный метод заполнения смесью рабочей полости и отделения от стержня, а также определенная поверхность сушки стержня, если он сушится после удаления из ящика.

Выбор направления заполнения ящика смесью зависит, прежде всего, от метода изготовления стержня, а также от установки каркасов и холодильников. Поверхность, на которой лежит стержень во время сушки, должна обеспечивать его устойчивое положение при транспортировании и сушке. Желательно, чтобы эта поверхность была плоской, что облегчало бы изготовление стержня и упрощало конструкцию ящика. Размер рабочей полости стержневого ящика увеличивают на величину усадки отливки. Для свободного удаления стержня из ящика на соответствующих его поверхностях предусматривают формовочные уклоны. Для образования знаков стержня в ящике выполняют специальные углубления или выступы.

Деревянные вытряхные и разъемные ящики используют преимущественно в единичном и мелкосерийном производстве. Изготавливают их из тех же пород древесины, что и модели. Разъемные стержневые ящики выполняются с горизонтальным (рис. 20, *а*), вертикальным (рис. 20, *б*) или иным разъемом. Части разъемного ящика скрепляют с помощью клиньев, крючков, стяжек.

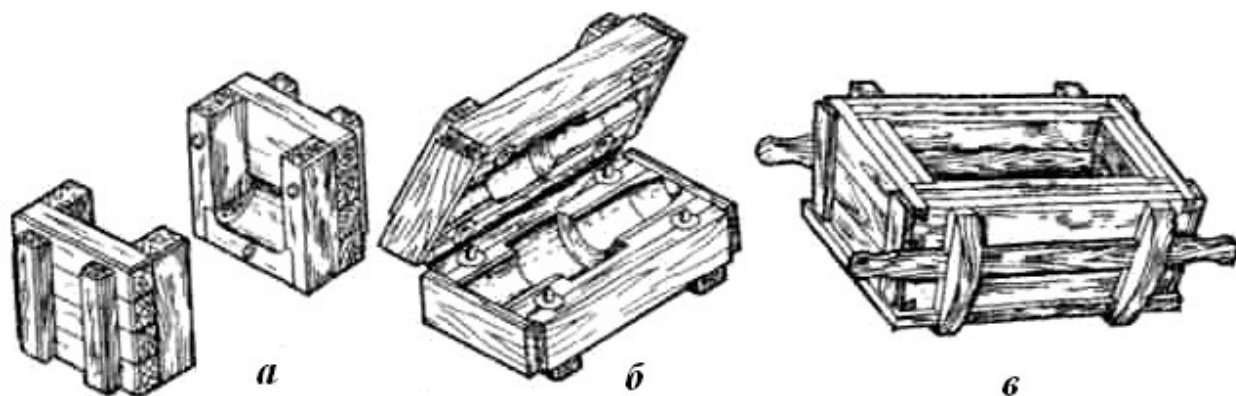


Рис. 20. Деревянные стержневые ящики

Вытряхной ящик (рис. 20, *в*) представляет собой жесткую коробку, в которую вставляют вкладыши, образующие рабочую полость стержня. После изготовления стержня ящик поворачивают на 180° и устанавливают на сушильной плите. Ящик поднимают, со стержня снимают вкладыши и вставляют их в ящик. Изготавливают деревянные ящики так же, как и деревянные модели.

Металлические стержневые ящики применяют в массовом и крупносерийном производстве. Их выполняют преимущественно из алюминиевых сплавов. Металлические стержневые ящики делают вытряхными (рис. 21, *а*), но чаще разъемными с вертикальным (рис. 21, *б*) и горизонтальным (рис. 21, *в*) разрезами. Части стержневого ящика соединяют с помощью штырей и скрепляют скобами или откидными барашками или крепят в зажимах машины.

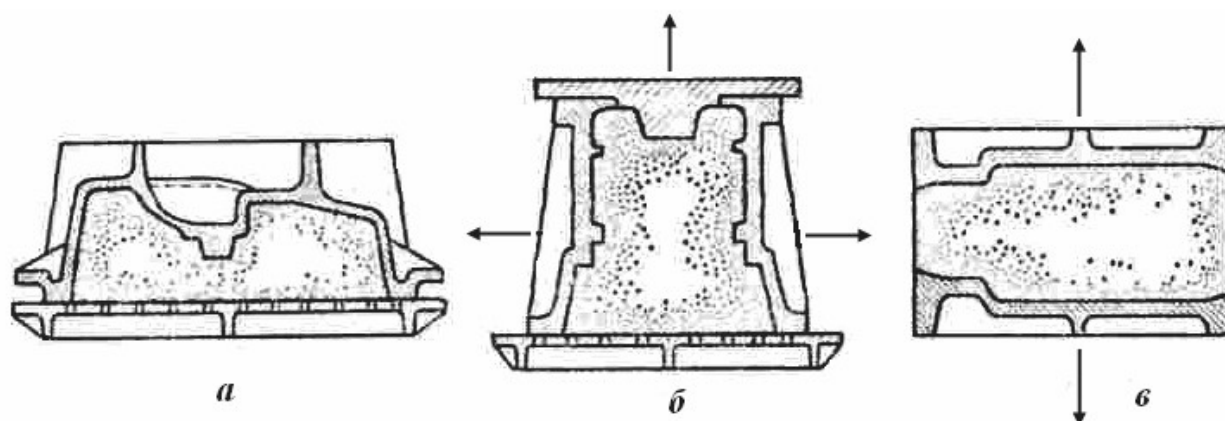


Рис. 21. Металлические стержневые ящики

Металлические стержневые ящики выполняют тонкостенными; толщину стенки выбирают в зависимости от материала и размеров ящика. С целью увеличения жесткости стержневой ящик с внешней стороны снабжается ребрами

жесткости, а в плоскостях набивки и разъема для увеличения конфигурационной прочности — бортиками, которые для предохранения от быстрого износа бронируют стальными пластинками.

Очень большое распространение получили пескодувный и пескострельный способы изготовления стержней. Для пескодувных машин применяют неразъемные и разъемные стержневые ящики. При заполнении смесью они испытывают избыточное давление воздуха, абразивное действие песчано-воздушной струи, а также усилие поджима ящика к надувному соплу машины, поэтому должны обладать повышенной жесткостью, прочностью, быть герметичными по плоскости разъема и наддува.

Для выхода воздуха из ящика в поверхности разъема выполняют специальные щели глубиной 0,15—0,2 мм. Стержневая смесь через них не проходит. У сложных по конфигурации стержневых ящиков, имеющих разветвления, углубления и карманы, вывод воздуха обеспечивается вентиляционными пробками (вентами).

Все большее применение находят способы изготовления стержней в нагреваемой оснастке и из холоднотвердеющих смесей (ХТС). Нагреваемая оснастка состоит из собственно стержневого ящика', системы нагрева, системы толкателей для удаления стержня из ящика, системы спаривания и вентиляционной системы. Она должна выдерживать значительные внутренние термические напряжения, возникающие при нагреве до 300 °С и последующем охлаждении, и сохранять при этом высокую механическую прочность. Конструкция стержневого ящика должна обеспечить минимальное его коробление при нагреве, поэтому стенки ящика выполняют толщиной не менее 20 мм и снабжают ребрами жесткости. Изготавливают ящики из специальных легированных чугунов и сталей.

При изготовлении стержней пескодувным способом из ХТС преимущественно используют металлические ящики. Так как стержни извлекаются из ящиков в отвержденном состоянии, последние должны изготавливаться с увеличенными в полтора-два раза формовочными уклонами. Предусматривается механизированное извлечение стержней системой толкателей.

Металлические стержневые ящики делают так же, как и металлические модели, но при этом учитывают не двойную усадку, а только усадку материала стержневого ящика.

Стержневые ящики для автоматических стержневых линий конструируют таким образом, чтобы их внешние размеры соответствовали допустимым для данной линии наибольшим размерам. Мелкие стержни производят в многогнездных ящиках. Унификация стержневых ящиков приводит к унификации сушильных плит и автоматизации всех вспомогательных операций по изготовлению стержней.

Стержневые ящики из пластических масс бывают двух типов: пластмассовые в корпусе из алюминиевых сплавов, предназначенные для массового и крупносерийного производства и обеспечивающие изготовление до 30000 стержней, и цельнопластмассовые, предназначенные для мелкосерийного и

серийного производства, обеспечивающие изготовление до 1000 стержней.

1.1.3. ОПОКИ

Опоки делают из серого чугуна, стали, алюминиевых и магниевых сплавов. Чугунные опоки изготавливают и применяют преимущественно в чугунолитейных цехах. Для производства стальных опок, более прочных и долговечных, чем чугунные, применяют углеродистую сталь. Опоки из алюминиевых сплавов значительно более легкие, чем чугунные и стальные, очень удобны в работе, но менее жестки. Опоки из магниевых сплавов являются наиболее легкими и достаточно прочными, но дорогими. По конфигурации опоки бывают прямоугольными, круглыми и реже — фигурными.

Опоки могут быть цельнолитыми и сварными. В зависимости от размеров и массы их подразделяют на ручные и крановые.

Крановые опоки (рис. 22) обслуживаются подъемными механизмами. Для транспортирования они снабжены цапфами.

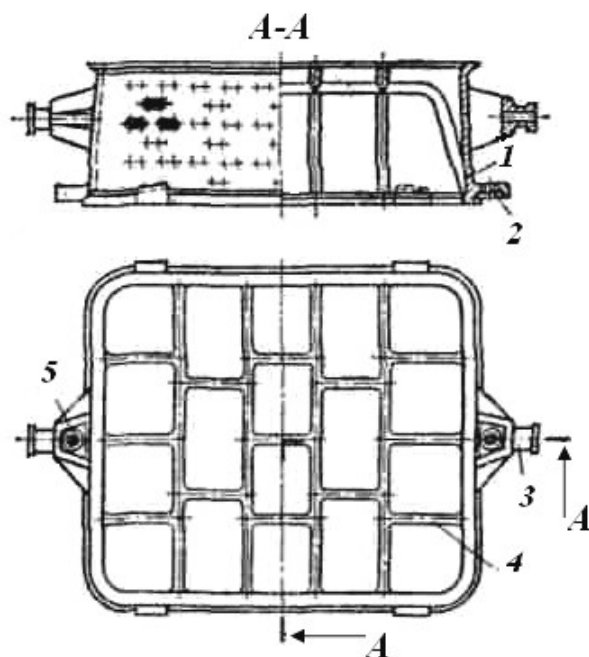


Рис. 22. Прямоугольная крановая опока: 1 — стенка; 2 — направляющая втулка; 3 — цапфа; 4 — ребро жесткости; 5 — центрирующая втулка

Для облегчения выхода газов и паров воды в стенках опоки выполняют специальные отверстия, называемые вентиляционными. Для удержания уплотненной смеси в опоке и увеличения жесткости конструкции средние и крупные опоки снабжают внутренними ребрами. Для упрощения обработки опок верхний уровень ребер жесткости часто выполняется ниже бортиков опок.

Соединяются опоки с помощью втулок и центрирующих штырей. Опоки имеют ушки, предназначенные для установки в них втулок — центрирующих (круглых) и направляющих (эллипсных). Во избежание поднятия верхней полуформы гидростатическим давлением жидкого металла ее нагружают или

скрепляют верхнюю и нижнюю полуформы. В массовом производстве наиболее распространено скрепление опок скобами или нагружение грузом, в единичном или мелкосерийном производстве — штырями с клиньями или болтами с гайками.

Производство отливок на автоматических формовочных линиях вносит определенную унификацию в модельно-опочную оснастку. На каждой линии применяются модельные плиты и опоки определенных размеров. Это является необходимым условием автоматизации транспортирования опок и модельных плит, установки опок на модельную плиту и пр. Несколько увеличенный, в ряде случаев до 20 %, расход формовочных смесей при использовании опок единых размеров окупается за счет резкого увеличения производительности и степени механизации. Опоки должны иметь жесткую конструкцию и точно выдержанные внутренние и внешние размеры, тщательно обработанные базовые плоскости, удобные направляющие и фиксирующие устройства для сборки двух полуформ. Желательно, чтобы нижняя опока не имела крестовин, что упростило бы выбивку отливок из формы. На формовочных автоматических линиях часто применяются специальные симметричные взаимозаменяемые опоки.

У большей части автоматов передача опок к машине и от машины осуществляется по специальным рельсовым направляющим с роликами, на которые опирается опока своими ребрами, расположенными вдоль боковых стенок (рис. 23).

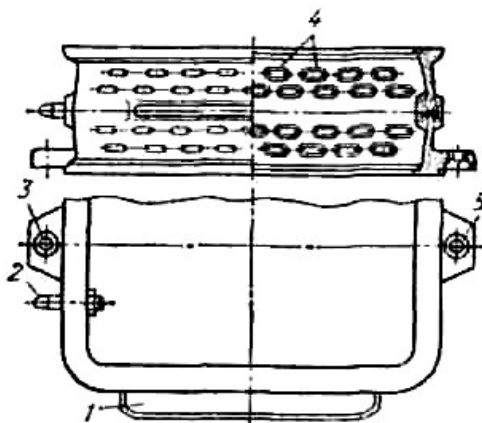


Рис. 23. Опока для формовочного автомата: 1 — направляющая планка; 2 — штырь для кантовки; 3 — центрирующая втулка; 4 — вентиляционные отверстия; 5 — направляющая втулка

На современных прессовых формовочных автоматах смесь уплотняется при высоком удельном усилии. При этом возникают большие давления на стенки опоки и обычные опоки деформируются, что вызывает искажение размеров форм, поэтому на подобных автоматах используют опоки повышенной жесткости.

1.1.4. ПРОЧИЙ ИНСТРУМЕНТ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

В комплект модельно-опочной оснастки, кроме моделей, модельных плит, стержневых ящиков и опок, входят подопочные плиты, сушильные плиты,

наполнительные рамки, шаблоны и другие приспособления. Подопочные плиты, на которые устанавливают формы, изготавливают максимально легкими и достаточно жесткими. Для обеспечения необходимой жесткости плита снабжается реберной сеткой. Для скрепления с опокой (при необходимости) у подопочных плит предусматривают конические пластики для скоб. Для отвода газов из формы вниз в плите выполняют сквозные отверстия. Большую часть подопочных плит делают из алюминиевых сплавов.

Сушильные плиты бывают двух видов: специальные с фасонной опорной поверхностью для стержня (драйеры) и с ровной опорной поверхностью. Основное требование к ним — максимальная жесткость конструкции при наименьшей массе. Температурные колебания, которым подвержены сушильные плиты при их эксплуатации, вызывают значительное их коробление. Для выхода газа из стержней в плитах предусмотрена система отверстий. Изготавливают сушильные плиты из алюминиевых сплавов.

Для выполнения в стержне вентиляционных каналов применяют вентиляционные плиты. Вентиляционные каналы в стержне всегда должны быть расположены вполне определенно, особенно, если они являются частью общей вентиляционной системы. Несовпадение каналов одного стержня с каналами других стержней или формы нарушает действие всей вентиляционной системы формы. Поэтому каждая вентиляционная плита должна соответствующим образом центрироваться на стержневом ящике с помощью втулок, запрессованных в стержневом ящике, и штырей, закрепленных в плите.

Шаблоны предназначены для контроля размеров стержней и форм, предварительной сборки нескольких стержней в один общий узел, проверки установки стержней в форму и т. д.

ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К формовочным материалам относятся все материалы, используемые для изготовления разовых форм и стержней. Различают исходные формовочные материалы и формовочные смеси. Основными исходными материалами являются песок и глина, вспомогательными — связующие вещества и добавки. Кроме исходных материалов, для приготовления формовочных смесей используют отработанные (бывшие в употреблении) смеси.

В зависимости от назначения различают формовочные и стержневые смеси и вспомогательные составы. Правильный выбор смесей имеет большое значение. Известно, что около половины брака отливок возникает из-за низкого качества формовочных материалов и смесей.

Важнейшими свойствами смесей являются теплофизические, механические, технологические свойства и свойства, определяющие газообмен.

1. Теплофизические свойства смесей определяют скорость и последовательность затвердевания залитого в форму металла и режим охлаждения отливки. Образование ряда дефектов в отливках (напряжений, трещин, пригара, ужимин и др.) также связано с теплофизическими свойствами смесей.

Основными теплофизическими характеристиками смесей являются их удельная теплоемкость c , теплопроводность λ , температуропроводность a и коэффициент тепловой аккумуляции теплоты b . Значения этих характеристик для формовочных и стержневых смесей, применяемых в литейном производстве, следующие: $c = 1060 \div 1980$ Дж/(кг·К), $\lambda = 0,54 \div 5,6$ Вт/(м·К), $a = (2,64 \div 7) \cdot 10^{-7}$ м²/с, $b = 900 \div 3700$ Вт·с^{1/2}/(м²·К).

Использование в составе смесей хромомагнетита, хромистого железняка и цирконовых песков, а также повышение степени уплотнения смесей или снижение их пористости увеличивает удельную теплоемкость, теплопроводность и коэффициент тепловой аккумуляции теплоты.

2. Механические свойства смесей характеризуются их прочностью, осыпаемостью, пластичностью и податливостью в уплотненном состоянии. Литейные формы и стержни должны обладать определенной прочностью и не разрушаться под воздействием собственного веса и различных нагрузок при сборке и транспортировании. Во время заливки форма должна выдерживать статическое и динамическое давления струи металла. Практическое значение имеют пределы прочности смесей при сжатии, растяжении, срезе и изгибе.

Литейные формы можно заливать во влажном и высушенном состояниях. В соответствии с этим и прочность смесей определяют на влажных и сухих образцах.

Прочность сырых смесей зависит главным образом от свойств жидких и полужидких пленок, покрывающих зерна песка (воды, увлажненной глины, растворов органических связующих, жидкого стекла и др.). Прочностные

свойства зависят также от размеров, формы и однородности зерен песка. Предел прочности при сжатии смесей в сыром состоянии обычно составляет $(0,2—0,8) \cdot 10^5$ Па, а после сушки он возрастает в 4 раза и более, что связано с упрочнением поверхностных пленок связующих веществ.

Осыпаемость (поверхностная прочность) характеризует способность формы или стержня сохранять свою конфигурацию под воздействием струи металла, других усилий, возникающих, например, при транспортировании или сборке формы. Осыпаемость может вызвать образование засоров, состоящих из частиц формовочных материалов. Поверхностная прочность зависит от содержания и качества глины или других связующих материалов, влажности смеси и режима сушки формы и стержней. Длительное ожидание заливки приводит к увеличению осыпаемости формы.

Пластичность — способность смеси передать форме (стержню) точные очертания модели (стержневого ящика) под воздействием внешних сил и сохранять принятую форму после удаления модели (стержневого ящика). Пластичность зависит от состава смеси, ее влажности и способа приготовления, размеров и формы зерен песка. Наибольшей пластичностью обладают смеси с высоким содержанием глины.

Податливость — способность смеси сокращаться в объеме под действием сжимающих усилий отливки во время усадки. При недостаточной податливости в отливке возникают напряжения и трещины. Податливость связана с прочностью смеси и потерей этой прочности при высоких температурах. Чем больше пористость и пластичность смеси, тем выше ее податливость.

3. Свойствами, определяющими газообмен, являются газопроницаемость и газотворность.

Во время заливки металла и последующего охлаждения отливки в порах формы повышается газовое давление за счет нагрева и расширения воздуха, испарения влаги, газификации и сгорания связующих материалов и разложения кристаллогидратов, карбонатов и других нестойких минералов, входящих в состав формовочных песков, глин и других материалов. Если к моменту возникновения в форме высокого газового давления на поверхности отливки не успела образоваться достаточно прочная корка затвердевшего металла, а газы не имеют возможности свободно проходить через стенки формы, то они устремляются в жидкий металл, образуя в затвердевающей отливке газовые раковины.

Газопроницаемостью — способность смеси пропускать газы через толщу формы. При достаточно высокой газопроницаемости смеси газовые дефекты в отливках не образуются. Газопроницаемость смеси зависит от ее влажности, размеров и однородности зерен песка, содержания глины, степени уплотнения смеси и находится в пределах от 20 (алюминиевые и магниевые сплавы) до 120 (сталь, чугун) единиц.

Газотворность — способность формовочных материалов выделять газы при нагревании. 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 см³ воды выделяется 1200... 1450 см³ водяного пара);
- сгорание органических связующих;
- окислительно–восстановительные реакции на границе металл–форма.

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 прокаливании.

4. Технологические свойства смеси не характеризуются физическими и химическими параметрами. Обычно их определяют экспериментально.

Текучесть — способность смеси под действием внешних сил обтекать модели или заполнять полости стержневых ящиков. Хорошая текучесть наблюдается, когда смесь перемещается не только в направлении приложенной силы, но и в других направлениях, в том числе перпендикулярном. По всему объему уплотняемой смеси должна достигаться наибольшая равномерность ее плотности и прочности при минимальной затрате усилий. Вследствие низкой текучести в форме могут образовываться рыхлоты, и прочность смеси будет неоднородной. Текучесть зависит от природы и количества связующих и глины, влажности смеси, размеров и формы зерен песка и методов приготовления смеси.

Гигроскопичность — способность смесей после сушки поглощать влагу из окружающей атмосферы. Формы и стержни не должны быть гигроскопичны. В противном случае, особенно при вынужденном выстаивании форм в ожидании заливки металлом, они переувлажняются и теряют поверхностную прочность, что ведет к образованию в отливках газовых раковин и засоров.

Выбиваемость — способность формовочных и стержневых смесей свободно удаляться из отливки после ее охлаждения. Хорошая выбиваемость обычно связана с потерей прочности связующего материала после завершения формирования отливки.

Термохимическая устойчивость — способность смеси не оплавляться при соприкосновении с жидким металлом и не образовывать с ним и с его оксидами химические соединения. При низкой термохимической устойчивости на поверхности отливок образуется пригар в виде трудноотделимого металлокерамического слоя.

1. ИСХОДНЫЕ ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Пески. К формовочным пескам относят горные породы, существующие в природных условиях в виде россыпей, образованных зернами тугоплавких, прочных и твердых минералов. В литейном производстве наиболее часто используют кварцевые пески.

Кварц, являющийся одной из форм существования кремнезема (SiO_2), обладает высокой огнеупорностью (1713°C), прочностью, твердостью (7 по шкале Мооса) и низкой химической активностью.

Недостатками кварца, как основы формовочных и стержневых смесей, являются его аллотропические изменения при нагреве и охлаждении. При температуре 575°C β -кварц переходит в α -кварц, что сопровождается увеличением его объема на 2,4 %. При охлаждении нагретого α -кварца происходит обратное превращение с сокращением объема. В каждом производственном цикле при нагреве от заливаемого в форму металла и последующем охлаждении эти изменения объема при сравнительно невысокой теплопроводности кварца приводят к возникновению напряжений и растрескиванию кварцевых зерен и обогащению смеси пылевидными частицами.

В целях повторного использования отработанной смеси (восстановления свойств) после каждого производственного цикла в нее вводят 3—15 % свежих кварцевых песков.

Природные кварцевые пески содержат примеси оксидов железа, полевого шпата, слюды и других минералов. Полевой шпат и слюда содержат оксиды щелочных и щелочно-земельных металлов. Все эти примеси являются вредными, так как снижают огнеупорность кварца, образуя с ним и оксидами заливаемого металла сложные легкоплавкие силикаты типа $n\text{SiO}_2 \cdot m\text{FeO} \cdot p\text{Na}_2\text{O}$. Поэтому содержание вредных примесей, особенно в песках, предназначенных для использования при литье стали, чугуна и других высокотемпературных сплавов, ограничивается.

В природных кварцевых песках часто содержится глина. Если она имеет хорошие связующие свойства, то такая примесь может рассматриваться как полезная.

Наряду с минералогическим составом важным свойством песка является его зерновое строение, которое характеризуется размером, формой и однородностью зерен. От зернового строения зависят теплофизические, механические и технологические свойства смеси, а также его газопроницаемость. Перед зерновым анализом от песка отделяется отмучиванием в воде глинистая составляющая, к которой относятся все частицы размеров $<0,02$ мм.

Формовочные пески подразделяют на классы в зависимости от содержания глинистой составляющей, кремнезема и вредных примесей (табл. 5).

Обогащенные кварцевые пески содержат минимальное количество глинистых составляющих и вредных примесей, в кварцевых песках их несколько больше. Пески, содержащие 2—50 % глинистой составляющей, называют глинистыми.

Материалы, содержащие более 50 % глинистой составляющей, относятся к глинам.

После определения глинистой составляющей определяют крупность и однородность зерен песчаной основы. Для этого остаток, получившийся после отмучивания глины, просеивают на ситах.

Таблица 5

Содержание глинистой составляющей, кремнезема и вредных примесей в формовочных песках

Класс	Наименование	Содержание глинистой составляющей , %, не более	Содержание кремнезема SiO ₂ , %, не менее	Содержание вредных примесей	
				оксидов щелочно-земельных и щелочных металлов, %, не более	оксида железа Fe ₂ O ₃ , %, не более
Об1К Об2К Об3К	Обогащенный кварцевый	0,2	98,5	0,4	0,2
		0,5	98	0,75	0,4
		1	97,5	1	0,6
1К 2К 3К 4К	Кварцевый	2	97	1,2	0,75
		2	96	1,5	1
		2	94	1	1,5
		2	90	—	—
Т	Тощий	10	—	—	—
П	Полужирный	20	—	—	—
Ж	Жирный	30	—	—	—
ОЖ	Очень жирный	50	—	-	—

Каждому ситы присвоен номер, соответствующий размеру стороны ячейки, выраженному в миллиметрах.

Номер сита.....2,5 1,6 1 063 04 0315 0,2 0,16 0,1 0063 005

Размер стороны

ячейки, мм 2,5 1,6 1 0,63 0,4 0,315 0,2 0,16 0,1 0,063 0,05

Рассев песка производится на приборе, который сообщает стопке сит с навеской песка вращательные движения с периодическими встряхиваниями. После окончания просева (через 15 мин) навеску песка на каждом сите взвешивают. В зависимости от размера зерен основной фракции пески подразделяют на группы (табл. 6).

Размер зерна определяется размером стороны ячейки сита, на котором остается зерно после прохождения через предыдущее сито. Основной фракцией

песка считается наибольшая сумма остатков на трех смежных ситах. Группа песка обозначается номером среднего сита основной фракции. В зависимости от величины остатка основной фракции на крайних ситах пески делятся на две категории — А и Б. К категории А относятся пески с остатком основной фракции на крайнем верхнем сите большим, чем на крайнем нижнем сите, а к категории Б — пески с остатком на крайнем нижнем сите большим, чем на крайнем верхнем.

Таблица 6

Зерновой состав песков

Группа	Наименование	Номера смежных сит, на которых остаются зерна основной фракции		
063	Грубый	1	063	.04
04	Очень крупный	063	04	0315
0315	Крупный	04	0315	0,2
02	Средний	0315	02	016
016	Мелкий	02	016	01
01	Очень мелкий	016	01	0063
0063	Тонкий	01	0063	005
005	Пылевидный	0063	005	Тазик

Необогащенные кварцевые пески по характеру распределения зерен подразделяют на пески с сосредоточенной зерновой структурой, у которых преобладающая масса зерен (не менее 70 %) остается на трех смежных ситах, и пески с рассредоточенной зерновой структурой, у которых преобладающая масса зерен на трех не менее 60 %.

Пески обогащенные и природные полужирные, жирные и очень жирные должны иметь сосредоточенную зерновую структуру.

Форма зерен песка может быть округлой, полуокруглой и остроугольной.

При маркировке песков на первое место ставит класс, затем группу и категорию, например, 2K02A. Песок этой марки относится к классу 2К, с основной фракцией средней крупности, оставшейся на ситах 0315, 02 и 016. Категория А показывает, что на сите 0315 остаток больше, чем на сите 016.

Иногда вместо кварцевых песков применяют другие материалы, например, хромистый железняк, хромомagnetит, циркон и др. Формовочные и стержневые смеси, в состав которых входят эти материалы, имеют повышенные теплоаккумуляную способность и химическую инертность по отношению к заливаемым металлам и их оксидам. При заливке металла в формах возникают меньшие температурные напряжения и изменения объема, так как у этих материалов отсутствуют аллотропические превращения. Использование этих материалов позволяет получать, например, крупные и массивные стальные отливки с чистой поверхностью (без пригара) с более высокой точностью размеров.

Глины. Формовочные глины, используемые для связывания зерен песка, являются горными породами, которые в своем естественном состоянии после увлажнения обладают высокой пластичностью. Вокруг глинистых частиц,

несущих на своей поверхности электрический заряд, образуются гидратные оболочки, обеспечивающие легкое скольжение частиц относительно друг друга при сохранении их сцепления и без нарушения сплошности материала при деформации. Количество удерживаемой воды зависит от основного минерала глины, размера частиц этого минерала и от присоединенных к нему веществ. Чем больше воды на поверхности способна удерживать глина, тем выше ее связующая способность и пластические свойства.

В зависимости от минералогического состава глины подразделяют на каолиновые (К), бентонитовые (Б) и полиминеральные (П).

В каолиновых глинах основным минералом является каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, имеющий слоистую кристаллическую решетку. На границах каждого слоя с одной стороны имеются ионы кислорода, а с другой — гидроксильные группы. Валентные связи между соседними слоями отсутствуют, и их взаимодействие определяется силами Ван-дер-Ваальса.

Вода окружает многослойный кристалл гидратной оболочкой. Чем меньше отдельные кристаллы, входящие в состав глины, тем больше общий объем гидратных оболочек и тем выше ее связующая способность.

По краям пластин каолинита всегда имеются группы SiO_4^{4-} , неиспользованные валентности которых обуславливают химическую активность пограничного слоя кристалла. В природных условиях к аннонам SiO_4^{4-} присоединяются катионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} и др. При увлажнении происходит диссоциация, анионом является сам кристалл каолинита, а катионами — присоединившиеся элементы. Анионы и катионы при этом удерживают вокруг себя некоторое количество воды. Количество удерживаемой воды зависит от свойств катионов. Наибольшее количество воды удерживают глины, содержащие ионы Na^+ , затем идут глины, содержащие K^+ , и далее глины, содержащие ионы щелочно-земельных металлов.

Все основные технологические свойства формовочных глин определяются их минералогическим составом, размером частиц, количеством и составом присоединенных катионов.

При нагреве в глинах протекают процессы, вызывающие постепенное и скачкообразное изменение их связующих свойств. Прочность формовочных смесей, в состав которых входит глина, при нагреве до 100°C и несколько выше увеличивается, что объясняется повышением сцепления между глинистыми частицами по мере удаления гигроскопической влаги. В интервале $350\text{—}650^\circ\text{C}$ из глины удаляется кристаллизационная влага, и она теряет свои связующие свойства.

Бентонитовые или монтмориллонитовые глины обладают более высокой связующей способностью. Основным минералом является монтмориллонит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n \text{H}_2\text{O}$. Эти глины также имеют слоистое строение, но по границам слоев расположены только ионы кислорода, и связь между соседними слоями более слабая по сравнению с каолиновыми глинами. Молекулы воды не

только находятся на поверхности кристалла, но и между его слоями. Поэтому кристаллы обладают способностью к внутрикристаллическому набуханию: расстояние между слоями кристалла увеличивается примерно в 3 раза.

По прочностным свойствам формовочные глины во влажном состоянии делят на группы: прочносвязующие (П), среднесвязующие (С) и малосвязующие (М). При этом предел прочности при сжатии для стандартной смеси, в состав которой входит бентонитовая глина, должен быть не менее $1,3 \cdot 10^5$ Па (для П); $1,1 \cdot 10^5$ Па (для С); $0,9 \cdot 10^5$ Па (для М) и для каолиновой глины соответственно $1,1 \cdot 10^5$ Па; $0,8 \cdot 10^5$ Па; $0,5 \cdot 10^5$ Па.

По прочностным свойствам в сухом состоянии глины подразделяют на подгруппы: прочносвязующие (1), среднесвязующие (2) и малосвязующие (3). При этом предел прочности при сжатии для стандартной смеси в сухом состоянии, в состав которой входит бентонитовая глина, должен быть не менее $5,5 \cdot 10^5$ Па; $3,5 \cdot 10^5$ Па; $3 \cdot 10^5$ Па и для каолиновой глины соответственно $4,5 \cdot 10^5$ Па; $3 \cdot 10^5$ Па; $2 \cdot 10^5$ Па.

По содержанию вредных примесей (Fe_2O_3 , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, $\text{CaO} + \text{MgO}$) глины делят на группы с низким (T_1), средним (T_2) и высоким (T_3) содержанием примесей. При этом массовая доля этих примесей не должна превышать соответственно 6; 12,5 и 21 %. Чем меньше в глине примесей, тем выше ее термохимическая устойчивость.

Маркируют глины в зависимости от минералогического состава, прочностных свойств во влажном и сухом состояниях и количества вредных примесей. Так, например, марка БП1Т₂ означает, что глина бентонитовая, прочносвязующая во влажном и сухом состояниях и со средним содержанием вредных примесей.

Вспомогательные материалы. Формовочные и стержневые смеси, в которых связующим является глина, обладают рядом недостатков. Для получения высокой прочности смеси в нее необходимо вводить большие количества глины и воды, что значительно снижает газопроницаемость смеси и увеличивает пригар на отливках. Такие смеси характеризуются плохими податливостью и выбиваемостью.

Для улучшения свойств смеси в нее взамен глины вводят вещества, называемые связующими. Связующие должны обеспечивать:

- высокую общую и поверхностную прочность форм и стержней после сушки или другой обработки;
- высокую текучесть, хорошую газопроницаемость и низкую газотворную способность;
- высокую податливость и выбиваемость смесей за счет снижения их прочности к моменту начала усадки отливки;
- отсутствие прилипания смесей к моделям и стержневым ящикам.

Перечисленные требования должны выполняться при введении сравнительно малых количеств связующего (0,5—6 %). Основными классификационными признаками этих материалов являются их химическая

природа, способность сообщать смесям прочность, отношение к воде, их гидрофильность и гидрофобность (табл. 7).

Деление связующих на классы (*A*, *B*, *B*) позволяет ориентировочно предопределять свойства смесей: их прочность во влажном состоянии, текучесть, податливость, выбиваемость, а также возможность комбинации связующего с глиной. К классу *A* относятся органические связующие, не растворимые или не смачиваемые водой; к классу *B* — органические связующие, растворимые или смачиваемые водой, к классу *B* — неорганические связующие, растворимые или смачиваемые водой.

Таблица 7

Классификация связующих

Класс	Группа	Обозначение	Название	Характер затвердевания	Удельная прочность, 10^5 Па/%
А	1	А-1	Синтетические смолы, ПК-104 (пудвер-бакелит), высыхающие масла, олифа, льняное масло, П	Необратимый	>5
	2	А-2	Смолосодержащие продукты и их комбинации с органическими водными материалами, ГТФ, ДП, БК, 4ГУ	Промежуточный	3—5
	3	А-3	Смолосодержащие продукты, пеки (древесный, торфяной, каменноугольный), канифоль	Обратимый	<3
Б	1	Б-1	Синтетические смолы, МФ- 7, М	Необратимый	>5
	2	Б-2	Коллоидные растворы органических веществ и эмульсии неводной органической фазы в водной среде с растворенными органическими материалами, СП, СБ, КТ, декстрин	Промежуточный	3—5
	3	Б-3	Коллоидные растворы органических веществ, ССБ, патока	Обратимый	<3
В	1	В-1	Жидкое стекло	Необратимый	>5

По удельной прочности $\sigma_{уд}$ связующие всех классов делят на три группы

$$\sigma_{уд} = 1000\sigma/[p(100 - v)],$$

где σ — предел прочности при растяжении сухого образца (в расчете на 1 % связующего); p — общее количество связующего, вводимого в смесь; v — содержание растворителя в связующих. В состав испытуемой смеси вводят оптимальное количество связующего, определяемое ГОСТами или техническими условиями. Удельная прочность зависит от характера затвердевания пленок связующего. Если при затвердевании протекают глубокие необратимые химические изменения, например, окисление, полимеризация или поликонденсация молекул, то удельная прочность связующих более $5 \cdot 10^5$ Па/% и соответственно при обратимом затвердевании удельная прочность менее $3 \cdot 10^5$

Па/%. Некоторые связующие обладают промежуточным характером затвердевания, при котором одновременно протекают обратимые и необратимые процессы.

Органические связующие (А, Б), имеющие широкий диапазон технологических свойств, при высоких температурах сравнительно легко разлагаются и обеспечивают хорошую податливость и выбиваемость. Неорганические связующие (В) хорошо выдерживают воздействия высоких температур, но имеют более низкую податливость и выбиваемость.

Синтетические смолы (А-1 и Б-1) в настоящее время находят широкое применение при изготовлении стержней, твердеющих в нагреваемой и холодной оснастке. Фенолформальдегидные и фурановые смолы, твердеющие в результате процессов поликонденсации, имеют высокую термостойкость, используются в стальном литье; менее термостойкие карбамидные смолы — в цветном литье.

Олифа и льняное масло (А-1) высыхают вследствие окисления и полимеризации.

Жидкое стекло (В-1), представляющее собой водный коллоидный раствор силиката натрия, применяют для изготовления формовочных и стержневых смесей с последующей тепловой и химической сушкой форм и стержней. Основной характеристикой жидкого стекла является его модуль M — отношение числа грамм-молекул диоксида кремния SiO_2 к числу грамм-молекул оксида натрия Na_2O . Обычно $M = 2 \div 3$. Чем выше модуль, тем быстрее идет затвердевание смесей с жидким стеклом, но конечная прочность смеси тем выше, чем ниже модуль. Жидкое стекло с низким ($M = 2$), средним ($M = 2,5$) и высоким ($M = 3$) модулями применяют для форм и стержней, твердеющих соответственно при тепловой обработке, продувке углекислым газом и выдержке на воздухе.

Затвердевание жидкого стекла с высоким модулем характеризуется процессом последовательного перехода водного коллоидного раствора сначала в золь, а затем в твердый кремнегель. Жидкое стекло с низким модулем твердеет преимущественно с образованием геля бисиликата натрия ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$).

Повышение податливости и улучшение выбиваемости жидкостекольных смесей достигают введением сахаросодержащих добавок (гидрола). Введение в смеси сложных эфиров органических и неорганических кислот (ацетатов глицерина) позволяет снизить необходимое количество жидкого стекла на 30 % и существенно увеличить выбиваемость смесей. Положительным свойством жидкого стекла является отсутствие вредных выделений во время заливки форм.

Древесный пек и канифоль (А-3), сульфитно-спиртовая брага (ССБ) и патока (Б-3) имеют относительно невысокую удельную прочность и чаще применяются совместно с другими материалами.

Широкое распространение на практике получили комбинированные связующие (А-2 и Б-2), которые получают растворением, смешиванием и эмульгированием. Растворение используют, когда связующие имеют

одинаковую химическую природу и растворяются в одинаковых растворителях. Смешивать можно связующие разной химической природы (органические и неорганические), но обязательно водные с водными, а неводные — с неводными.

При эмульгировании дополнительно вводится поверхностно-активное вещество (ПАВ), которое, адсорбируясь на поверхности капель или частиц, препятствует соответственно их слиянию или сцеплению, т. е. разделению (расслоению) системы на две отдельные фазы. Эмульсии, полученные таким образом, могут представлять собой капли или частицы неводного связующего, распределенные в воде и стабилизированные каким-либо ПАВ, и капли воды, распределенные в неводном связующем. Примером эмульсии первого типа может служить связующее СП (группы Б-2), в котором капли окисленного петролатума (5 %), представляющего собой масло на основе нефтепродуктов, распределены в воде и стабилизированы сульфитно-спиртовой бардой (95 %), которая сама является связующим.

В связующих групп А-2 и Б-2 часто в небольших количествах содержится глина, придающая смесям прочность в сыром состоянии. Применение комбинированных связующих снижает расход дефицитных и дорогостоящих связующих и позволяет получать стержневые смеси заданной прочности в сухом и сыром состояниях, с высокой газопроницаемостью и минимальной газотворностью.

Для улучшения технологических, механических, теплофизических и других свойств в смеси вводят добавки. В смеси для стального литья вводят пылевидный кварц, который, располагаясь между зёрнами песка, уменьшает пористость смеси и увеличивает ее теплоаккумулирующую способность. Это приводит к более раннему образованию твердой корки на поверхности отливки и снижению механического и химического пригаров. Уменьшение проходного сечения пор также способствует уменьшению пригара.

В формовочные смеси для чугуна, заливаемого во влажные формы, вводят каменноугольную пыль, которая во время заливки газифицируется и создает в форме более восстановительную атмосферу, препятствующую окислению металла и образованию на отливках пригара.

В формовочные смеси для ответственного чугунного литья с целью повышения поверхностной прочности сырых форм вводят до 0,1 % крахмалита (кукурузного крахмала), что снижает брак отливок по засорам.

С целью предотвращения воспламенения магниевых сплавов в формовочные смеси вводят добавку ВМ, в состав которой входят борная кислота, техническая мочеви́на и сернокислый алюминий. На поверхности магниевого сплава образуются плотные пленки, защищающие его от окисления кислородом воздуха и парами воды из формы. В стержневые смеси с этой же целью добавляют серу (0,25—1 %). Выделяющиеся газообразные продукты снижают концентрацию кислорода и паров воды вокруг отливки и предохраняют ее от возгорания. При изготовлении чугунных отливок в смеси для сухих форм добавляют опилки, которые при сушке уменьшаются в объеме, а при заливке металла выгорают,

образуя дополнительные поры. В результате формы имеют повышенную газопроницаемость, податливость и выбиваемость.

Добавки можно вводить для повышения теплопроводности, текучести смесей, устранения их прилипания к модельной оснастке, а также в других целях. Поверхностно-активные вещества позволяют получать смеси с принципиально новыми свойствами. Так, например, введение в смеси с жидким стеклом ПАВ ДСРАС или контакта Петрова в количестве до 0,1 % переводит смесь из сыпучего в жидкоподвижное состояние за счет снижения поверхностного натяжения жидкой составляющей и образования в межзеренных пространствах песка мелкодисперсной пены. Жидкие смеси можно заливать в опоку или стержневой ящик без использования обычных формовочных и стержневых машин, уплотняющих смесь. Смесь затвердевает через 20—40 мин после введения в нее отвердителя, содержащего двукальциевый силикат $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Эти смеси благодаря своим качествам получили в настоящее время широкое применение.

2. ФОРМОВОЧНЫЕ И СТЕРЖНЕВЫЕ СМЕСИ, ПРОТИВОПРИГАРНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Формовочные смеси. Экономически целесообразно получать отливки в сырых формах. Сухие формы применяют при изготовлении крупных, массивных или сложных по конфигурации отливок в тех случаях, когда в сырых формах не удастся получить качественные изделия. Смеси для сырых форм имеют влажность 4—6 %, содержат 7—12 % глины прочносвязующей во влажном состоянии. Содержание глины может быть снижено до 4 % при использовании бентонитов. Предел прочности при сжатии сырых смесей обычно составляет $(0,3—0,8) \cdot 10^5$ Па.

В массовом производстве при изготовлении форм методом прессования под повышенным давлением и изготовлении безопочных форм с вертикальным разъемом применяют высокопрочные смеси, предел прочности которых при сжатии достигает $2,1 \cdot 10^5$ Па.

При получении отливок в сухих формах содержание прочно-связующей глины в высушенном состоянии доходит до 16 %, влажность смеси составляет 5—9 %.

Формовочные смеси готовят из различных песков и глин. Формовочные смеси для получения стальных отливок (температура заливки 1550°C) должны содержать пески классов 1К и 2К и глины группы T_1 с высокой термохимической устойчивостью (с низким содержанием примесей). При изготовлении крупных чугуновых отливок (температура заливки 1350°C) можно использовать пески классов 3К и 4К и глины группы T_2 со средней термохимической устойчивостью (со средним содержанием примесей). Для мелких и средних чугуновых отливок и отливок из цветных сплавов вместо кварцевых можно применять глинистые пески класса П, имеющие более низкую огнеупорность.

Формовочные смеси подразделяют на единые, облицовочные и наполнительные. В массовом производстве применяют единые смеси, в единичном и мелкосерийном производстве для изготовления крупных форм — две смеси: облицовочную, наносимую на поверхность модели, и наполнительную, заполняющую остальной объем формы.

Единые смеси должны обладать высокими свойствами, потому что они соприкасаются с жидким металлом. Степень освежения единых смесей (5—15 %) значительно меньше, чем у облицовочных (20—100 %), так как вводимые в единую смесь свежие пески и глины при одинаковом их расходе распределяются по всему объему формы, а не только в облицовочном слое. Степень освежения смесей зависит от количества заливаемого в форму металла, его температуры, а также от безвозвратных потерь смеси в процессе производства отливок.

Состав формовочных смесей определяется маркой литейного сплава, его температурой перед разливкой по формам, размерами и массой получаемых отливок, способом изготовления форм, характером производства и другими факторами (табл. 8).

Таблица 8

Состав и свойства формовочных смесей

Сплавы	Состояние формы	Состав смеси, %						Зерновой состав песка	Содержани е глины, %	Влажность , %	Газопрони цаемость	Предел прочности, 10 ⁵ Па	
		единой			облицовочной							при сжатии сырых образцов	при растяжени и сухих образцов
		Песок и глина	Отрабо танная смесь	Добавки	Песок и глина	Отрабо танная смесь	Добавки						
Стали	Сырая	10—20	90—80	—	25—50	75—50	0—1 ССБ	02А, 02Б	10—12	4—5	80—120	0,4—0,6	—
	Сухая	—	—	—	50— 100	50—0	0—20 пылевидно го кварца, 0—1,5 ССБ	02Б, 0315А	7—15	6—8	70—120	0,5—0,7	0,8—1,5
Чугуны	Сырая	5 — 15	95 — 85	0,5—1,5 каменного угля	20—60	80—40	2—8 каменного угля	01А—0315Б	8—19	4—6	30—100	0,3—0,7	—
	Сухая	—	—	—	40—60	60—40	0—4 опилок	02А—04А	12—16	6—8	60—100	0,5—0,8	0,8—2
Медные	Сырая	7—10	93—90	1—1,5 мазута	20—60	80—40	1—1,5 мазута	016А, 01А	8—12	4—5,5	30—50	0,3—0,5	—
	Сухая	—	—	—	20—40	80—60	—	016А, 01А	10—15	5,5—7	30—50	0,4—0,6	0,8—1,2
Алюмини евые	Сырая	8—10	92—90	—	20—90	80—10	—	016А, 01А	8—10	4,5—5,5	20—40	0,3—0,5	—
Магниев ые	Сырая	5—10	95—90	4—8 фтористой присадки	—	—	—	01А, 0063А	5—6	—	20—40	4—0,8	—

Облицовочный слой смеси (толщина 40—100 мм), непосредственно контактирующий с заливаемым в форму металлом, подвергается воздействию высоких температур, воспринимает гидравлический удар и давление металла, обеспечивает необходимую конфигурацию и чистоту поверхности. Из этих соображений облицовочные смеси должны обладать повышенными физико-механическими свойствами, что достигается введением в их состав большего количества свежих материалов (песков и глин).

Наполнительные смеси отделены от металла слоем облицовочной смеси, поэтому к ним в основном предъявляют требования по газопроницаемости и прочности, которые должны быть не ниже, чем у облицовочных смесей. В наполнительные смеси свежие материалы не вводят.

Приведенные в табл. 8 сведения о составе и свойствах смесей являются средними ориентировочными. Эти данные могут уточняться в зависимости от конкретных производственных условий.

Стержневые смеси. К стержневым смесям предъявляют более высокие требования, чем к формовочным в отношении прочности, газопроницаемости, газотворности, податливости, выбиваемости и огнеупорности, так как во время заливки и охлаждения металла в форме стержни в большей мере соприкасаются с металлом и интенсивнее прогреваются. Стержневые смеси выбирают в зависимости от конфигурации и размеров стержней, положения их в форме, заливаемого сплава и толщины стенки отливки.

Стержни подразделяют на пять классов. К первому классу относят стержни сложной конфигурации, с очень тонкими сечениями, имеющие небольшое число тонких знаков. Стержни со всех сторон окружены металлом. В высушенном состоянии они должны иметь высокую прочность и газопроницаемость. Это достигается введением в смесь небольшого количества связующего А-1 (см. табл. 7).

Стержни второго класса наряду с тонкими ребрами и выступами имеют массивные части и развитые знаки. Значительная часть поверхности соприкасается с металлом. Вследствие более легкого отвода газов из стержней через знаки допустимо большее количество связующего. Поэтому можно применять связующие А-2. Для придания стержням достаточной прочности во влажном состоянии в смеси вводят 3—5 % глины.

Стержни третьего класса имеют конфигурацию средней сложности. Обычно это центровые стержни. Они должны обладать средней прочностью во влажном и высушенном состояниях. Эти требования выполняются при введении в смесь комбинированных связующих А-2 и Б-2. Можно вводить связующие А-3, Б-3 совместно с глиной.

К четвертому классу относят стержни несложной конфигурации. В смесях используют водные связующие классов Б и В.

Стержни пятого класса — массивные стержни, образующие большие полости в крупных отливках. Основным связующим в смесях является глина

(7—10 %), так как стержни мало прогреваются и органические материалы в них не сгорают и не разлагаются. Для увеличения податливости в смеси добавляют опилки.

Для стержней первого и второго классов применяют кварцевые пески; для стержней третьего и четвертого классов можно использовать менее дефицитные глинистые пески и вводить до 60 % отработанной смеси.

При изготовлении стержней, твердеющих в нагреваемой или холодной оснастке при наличии катализатора, используют обогащенные пески.

Предел прочности при сжатии смеси во влажном состоянии для стержней первого—пятого классов возрастает от $(0,03 — 0,06) 10^5$ до $(0,2 — 0,35) 10^5$ Па, предел прочности при растяжении высушенной смеси снижается с $(7 — 10) 10^5$ до $(0,8 — 1,5) 10^5$ Па.

Для смесей, твердеющих в нагреваемой оснастке, предел прочности при растяжении равен 20—105 Па (смеси с 2,7 % смолы КФ-90) и более.

Приготовление формовочных и стержневых смесей. Приготовление смесей предусматривает подготовку исходных формовочных материалов, отработанных смесей и приготовление самих смесей из этих материалов.

Пески, поступающие на склад литейного цеха, сушат при температуре ~ 250 °С в печах барабанного типа или в установках для сушки в кипящем слое (рис. 24).

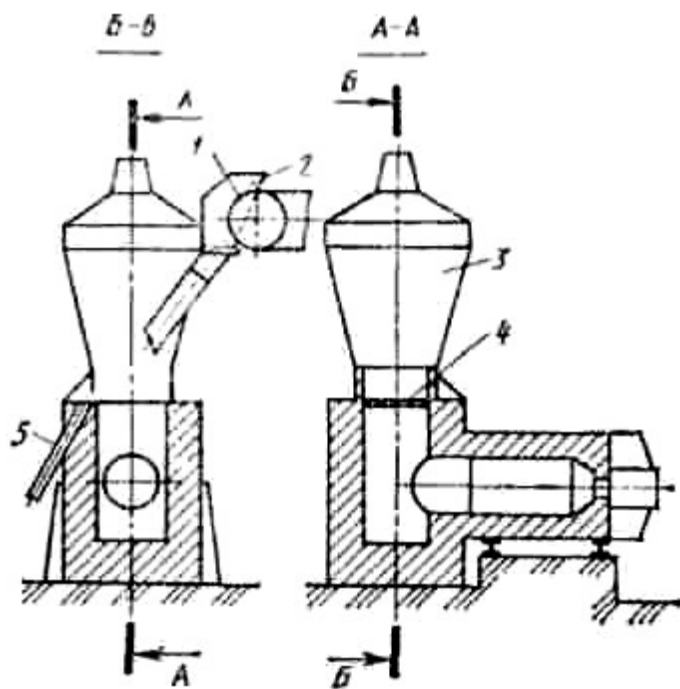


Рис. 24. Установка для сушки песка в кипящем слое

Исходный песок подается на решетку 4. Дымовые газы при температуре 1000 °С направляются под решетку под избыточным давлением и образуют с песком пневмокипящий слой. Интенсивное перемешивание обеспечивает эффективный теплообмен между горячими газами и частицами песка, которые быстро высушиваются. Расширение конического резервуара 3 способствует снижению

скорости движения песчинок и их оседанию. Сухой песок вытекает через желоб 5, а влажный — непрерывно поступает по транспортеру 1 через воронку 2.

Высушенный песок охлаждается до нормальной температуры и просеивается с целью отделения комьев, гальки и различных посторонних включений через сита с размером ячеек 3—5 мм. Для этого используют барабанные, конические сита и сита с плоским полотном.

Глину подвергают сушке в барабанных печах при температуре 200—250 °С и размельчению в два приема: дроблению на куски размером 15—25 мм в дробилках (щековых, вальцовых, молотковых) и размолу в мельницах (шаровых, молотковых) до частиц размером менее 0,1 мм с последующим просевом на ситах.

В формовочные смеси целесообразно вводить не порошковую глину, а глинистую суспензию. Суспензия (40 % глины и 60 % воды), приготовленная в бегунах или лопастных смесителях, подается по трубопроводу к местам приготовления формовочных смесей. Этот способ позволяет снизить расход глины на 30 %, исключить сушильное, дробильно-размольное, просеивающее оборудование и существенно улучшить условия работы в результате устранения источников выделения пыли и теплоты.

Угольный порошок готовят на том же дробильно-размольном оборудовании, что и порошковую глину. Остальные формовочные материалы (связующие, пылевидный кварц, циркон и др.) поступают в литейные цехи в готовом виде и специальной подготовки не требуют.

Отработанную смесь, выбитую из опок, перерабатывают и после этого подают в смесеприготовительное отделение. Отработанная смесь, получаемая после выбивки сухих форм, содержит твердые комья, которые разминают между гладкими валками.

Для удаления из смеси металлических включений (брызг металла, шпилек, каркасов стержней) применяют магнитный сепаратор (рис. 25).

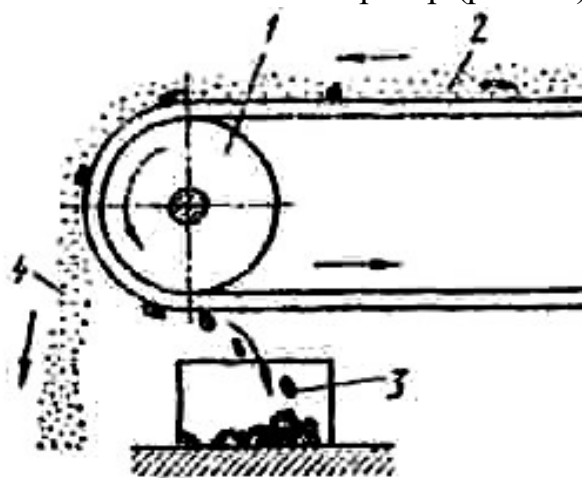


Рис. 25 Магнитный сепаратор

Внутри ведущего шкива 1 ленточного конвейера 2, подающего отработанную смесь от выбивной решетки, находится многополюсный электромагнит. Металлические частицы, притягиваясь к магниту, прижимаются к ленте конвейера и падают только тогда, когда лента сходит со шкива. Немагнитный материал — отработанная смесь 4 ссыпается с ленты отдельным потоком раньше металлических частиц. Металлические частицы собираются в емкости 3, а отработанная смесь передается ленточным транспортером на последующую переработку.

После магнитной сепарации отработанная смесь просеивается через цилиндрические или конические сита с размерами ячеек 6—10 мм для отделения немагнитных включений. Смесь, охлажденная до 35 °С, направляется в смесеприготовительное отделение как компонент единых и облицовочных смесей.

Отработанные стержневые смеси подвергают специальной переработке, называемой регенерацией, целью которой является получение продукта (регенерата), используемого в качестве заменителя свежего формовочного песка, входящего в состав стержневой смеси. Отработанная стержневая смесь разминается, комья распадаются на отдельные зерна песка и пылевидные частицы, образованные растрескавшимися зернами песка и остатками пленок связующих. После этого смесь классифицируют по размерам зерен в воздушном потоке, постепенно изменяющем скорость своего движения (сухая регенерация) или после смешения с водой в специальных отстойных чанах (мокрая регенерация). Регенерацию применяют после экономического обоснования, так как она требует значительных производственных площадей и связана с большими затратами.

Приготовление формовочных смесей включает следующие операции: дозирование, перемешивание компонентов, увлажнение, вылеживание и разрыхление.

Сущность процесса перемешивания состоит в том, чтобы из компонентов получить однородную смесь, все зерна песка которой были бы покрыты тонким, равномерным слоем увлажненной глины или другого связующего. Перемешивание проводят в специальных смесителях, наиболее распространенными из которых являются смешивающие бегуны с вертикальными и горизонтальными катками.

На рис. 26 приведена схема бегунов с горизонтальными катками. На траверсе 8, укрепленной на вертикальном валу 6, находятся маятники 7, на которых подвешены катки 3. Маятники соединены с траверсой шарниром 4. При вращении вала катки под действием центробежных сил отклоняются к борту чаши 1. Смесь поднимается со дна чаши вращающимися вместе с траверсой плужками 2 и попадает под катки, которые разминают комья и перемешивают смесь. Готовая смесь удаляется из чаши через люк 5.

Производительность бегунов 20 м³/ч и более. Продолжительность приготовления одного замеса составляет 1,5—2,0 мин.

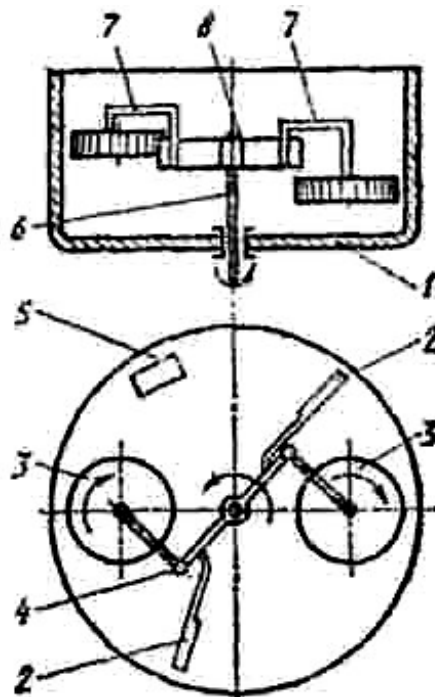


Рис. 26. Смешивающие бегуны с горизонтально расположенными катками

После переработки в бегунах смеси, содержащие глину, поступают в бункеры-отстойники на вылеживание в течение 2—6 ч. Это время необходимо для образования водных оболочек вокруг глинистых частиц и устранения неравномерности распределения влаги в смеси.

После бункеров-отстойников смесь разрыхляют в аэраторах или дезинтеграторах, что обеспечивает высокую газопроницаемость и однородность уплотнения смеси в формах.

В аэраторе (рис. 27) вращающиеся на валу 1 лопатки 2 подхватывают непрерывно поступающую через загрузочное отверстие 3 смесь и бросают ее на свободно висящие цепи 4 или прутья, с которых она падает в разрыхленном состоянии. Далее по ленточным конвейерам формовочная смесь подается в бункеры над формовочными машинами.

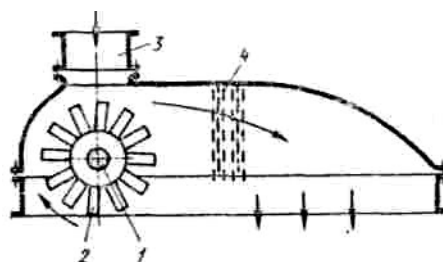


Рис 27 Аэратор

Последовательность приготовления смесей показана на рис. 28.

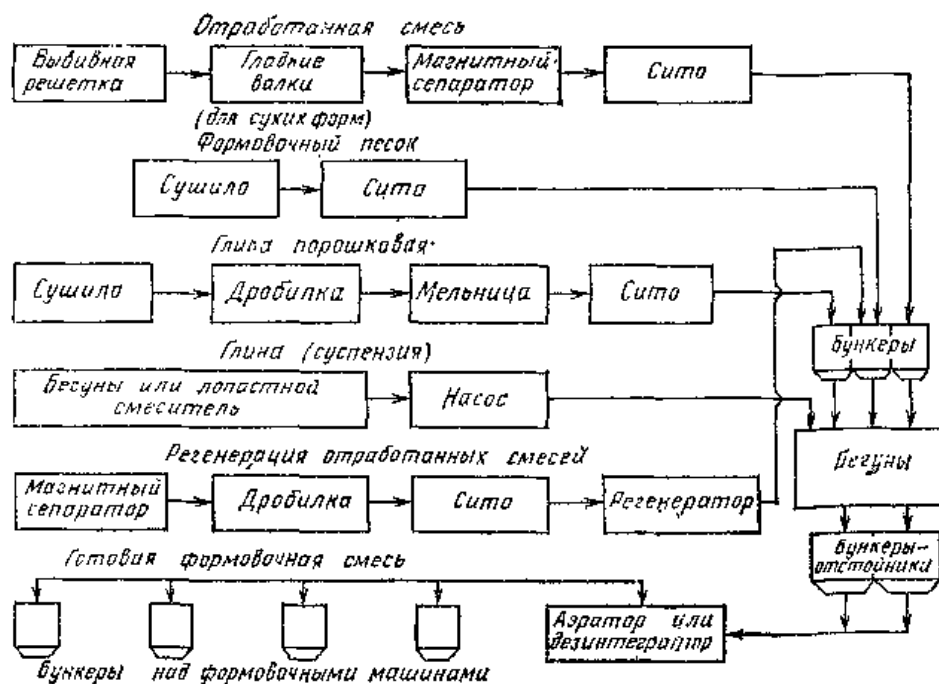


Рис. 28. Схема приготовления формовочной смеси

Противопригарные покрытия. Для улучшения чистоты поверхности отливок на рабочую поверхность форм и стержней наносят специальные противопригарные покрытия. На поверхности полостей форм, заливаемых в сыром состоянии, наносят припылы. Формы для стальных отливок припыливают пылевидным кварцем, для чугунных отливок — серебристым графитом и тальком.

Сухие формы и стержни покрывают противопригарными покрытиями, представляющими собой суспензию пылевидного огнеупорного материала в воде с добавлением связующего для придания прочности слою покрытия и стабилизирующего вещества, препятствующего расслоению суспензии. Нанесенный слой краски уменьшает шероховатость поверхности формы, закрывает поры между зернами песка, препятствуя прониканию в них жидкого металла и его оксидов. В результате поверхность отливки получается более гладкой, чистой и без пригара.

Формы для отливок из чугуна покрывают углеродсодержащими покрытиями, например, имеющими состав, %: 58,5 графита скрытокристаллического, 3,5 бентонита, 10 сульфитной барды, 28 воды. Плотность этой суспензии 1400 кг/м³. В противопригарные покрытия для стальных отливок обычно входят пылевидные кварц, циркон, магнезит, а для отливок из цветных сплавов тальк.

Покрытия наносят на горячие формы и стержни или на холодные с последующей их подсушкой. Применяют и самовысыхающие покрытия на органических растворителях. В ряде случаев можно использовать специальные покрытия, например для предотвращения поверхностного науглероживания отливок из коррозионно-стойких сталей. Известно применение покрытий для модифицирования и поверхностного легирования.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ

Изготовление разовых литейных форм называют *формовкой*. Это трудоемкий и ответственный этап всего технологического цикла изготовления отливок, который в значительной степени определяет их качество. При формовке выполняют следующие технологические операции:

- уплотнение смеси, позволяющее получить точный отпечаток модели в форме и придать ей необходимую прочность в сочетании с податливостью, газопроницаемостью и другими свойствами;
- устройство в форме вентиляционных каналов, облегчающих выход из полости формы образующихся при заливке газов;
- извлечение модели из формы;
- отделку и сборку формы, включая установку стержней.

Разовые литейные формы позволяют получать практически любые по конфигурации, сложности и массе отливки. В зависимости от размеров, массы и толщины стенки отливки, а также марки литейного сплава его заливают в сырые, сухие или химические твердеющие формы. В сырых формах изготавливают мелкие и средние отливки. В других случаях перед сборкой полуформы высушивают на всю глубину или на 20—30 мм от поверхности, обеспечивают химическое твердение смеси в опоке. Литейные формы делают вручную, на формовочных машинах, полуавтоматических и автоматических линиях.

1. РУЧНАЯ ФОРМОВКА

Несмотря на механизацию и автоматизацию производственных процессов, изготовление форм вручную часто наиболее целесообразно в условиях единичного, а иногда и мелкосерийного производства. Доля отливок, получаемых в формах, изготовленных таким образом, в настоящее время составляет 20 %. Существует множество технологических вариантов формовки, наиболее распространенным из которых является *получение форм в парных опоках по разъемной модели*. Разъемную модель применяют, как правило, в тех случаях, когда модель не имеет плоской поверхности (рис. 29, а).

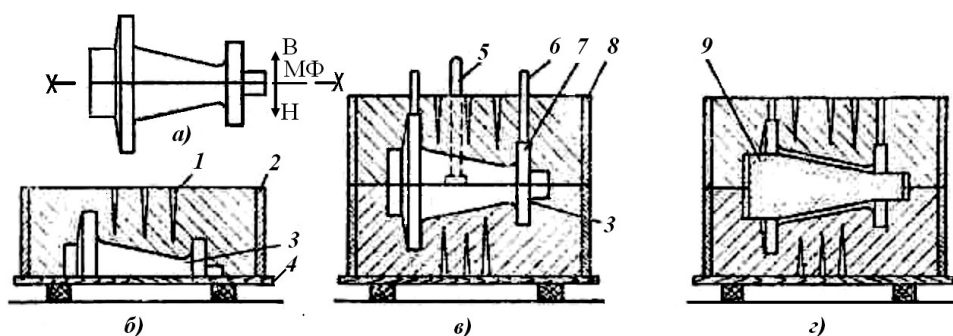


Рис. 29. Изготовление формы в двух опоках по разъемной модели

На модельную плиту 4 устанавливают нижнюю половину 3 модели и нижнюю опоку 2 рабочей плоскостью вниз (рис. 29, б). На модель наносят слой облицовочной смеси толщиной 40—100 мм, который слегка уплотняют. Затем опоку заполняют наполнительной смесью и уплотняют ручной или пневматической трамбовкой. Излишек формовочной смеси срезают линейкой вровень с кромкой опоки, делают наколы 1, улучшающие газопроницаемость формы. Опоку с заформованной в ней половиной модели поворачивают на 180° и вновь устанавливают на модельную плиту. На нижней половине 3 модели фиксируют ее верхнюю половину 7 (рис. 29, в), устанавливают модели стояка 5 и других элементов литниковой системы, выпора 6. Плоскость разъема формы посыпают разделительным песком и на нижнюю опоку устанавливают верхнюю 8. Модель и элементы литниковой системы покрывают слоем облицовочной смеси толщиной 40—100 мм, слегка обжимают и опоку заполняют наполнительной смесью. После уплотнения смеси трамбовкой срезают излишки смеси, делают вентиляционные наколы и извлекают модели стояка и выпора. Верхнюю полуформу снимают, поворачивают на 180° и извлекают с помощью специального подъемника половины моделей отливки и литниковой системы. Затем в нижнюю полуформу устанавливают стержень 9, который оформляет внутреннюю полость отливки, и на нижнюю полуформу с помощью штырей устанавливают верхнюю полуформу (рис. 29, г). После скрепления опок или нагружения форма считается подготовленной к заливке. Иногда при изготовлении сложных отливок одна плоскость разъема не позволяет извлечь модель из верхней и нижней полуформ. В этих случаях применяют формовку в трех и большем числе опок, т. е. форма имеет две и больше поверхностей разъема. В ряде случаев вместо дополнительного разъема на модели делают отъемные части или устанавливают наружные стержни. Схема формовки по модели с отъемными частями показана на рис. 30.

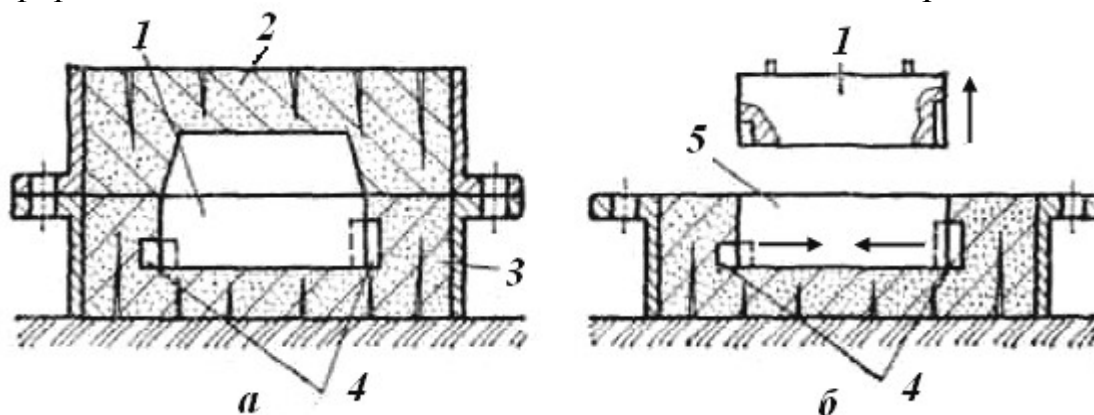


Рис. 30. Формовка по модели с отъемными частями: а — изготовленная форма; б — извлечение модели и отъемных частей; 1 — модель; 2 — верхняя полуформа; 3 — нижняя полуформа; 4 — отъемные части модели; 5 — полость нижней полуформы

Формы для несложных отливок могут быть изготовлены по неразъемной модели, допускающей ее извлечение из формы без разрушения последней. Применение неразъемных моделей сложных конфигураций возможно также при

использовании специальных приемов (*подрезки, фальшивой опоки и т. д.*). В этих случаях последовательность операций по изготовлению собственно формы аналогична описанной выше.

Формы для крупных уникальных отливок массой в несколько десятков, а иногда и сотен тонн, как правило, изготавливают в специальных ямах (кессонах), дно которых находится ниже уровня пола цеха. Стенки и дно кессонов для предупреждения попадания в них грунтовой воды облицовывают бетоном или железобетоном. Формовку в почве применяют для изготовления отливок, не требующих высокой точности. При этом формовочную смесь уплотняют вокруг модели с помощью пневматических трамбовок или пескометом, а при изготовлении небольших отливок модель вдавливают в заранее подготовленный слой формовочной смеси.

Формовка в почве может быть открытой и закрытой. В обоих случаях первой операцией является подготовка почвы, или, как говорят, подготовка постели. Применяют *формовку по мягкой и твердой постели*. При изготовлении крупных отливок, например деталей металлургического оборудования, формовку в почве осуществляют по *твердой постели*. Для этого в полу формовочного участка выкапывают яму шириной и глубиной на 250—500 мм больше соответствующих размеров модели. На дно ямы насыпают и уплотняют слой крупного шлака, который накрывают рогожей или слоем соломы, устанавливают вентиляционные трубы для отвода газов из формы, засыпают и уплотняют наполнительную смесь (уплотняют слои по 60—80 мм). Засыпку наполнительной смеси заканчивают, когда глубина ямы будет меньше высоты модели на 30—80 мм. Затем делают вентиляционные каналы и засыпают облицовочную смесь (рис. 31).

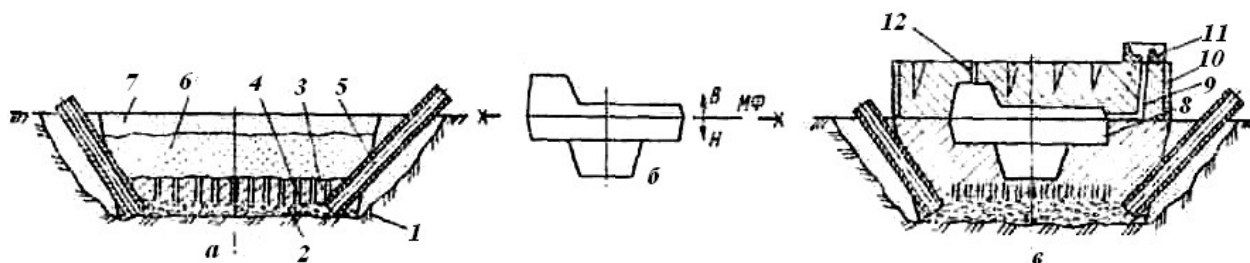


Рис. 31. Закрытая формовка в почве по твердой постели: *а* — приготовление твердой постели; *б* — модель; *а* — собранная форма; 1 — яма; 2 — кокс или шлак; 3 — слой уплотненной наполнительной смеси; 4 — вентиляционные наколы; 5 — вентиляционные трубы; 6 — слой наполнительной смеси; 7 — слой облицовочной смеси; 8 — полость формы; 9 — литниковый ход; 10 — опока; 11 — литниковая чаша; 12 — выпор

После приготовления твердой постели в нее осаживают модель (или нижнюю полумодель в случае формовки по разъемной модели), горизонтальность ее расположения проверяют уровнем. Края формы слегка смачивают водой, модель расталкивают, чтобы обеспечить ее легкое извлечение из формы, и извлекают. Затем форму отделяют: наносят противопригарное покрытие,

сушат специальными переносными сушилками, а после охлаждения устанавливают стержни. Если форма сделана по разъемной модели, то после осаживания нижней половины модели в почву или уплотнения смеси трамбовками вокруг модели плоскость разъема посыпают сухим разделительным песком, устанавливают верхнюю половину модели, модель литниковой системы и опоку. Засыпают и уплотняют формовочную смесь. По окончании формовки верхнюю полуформу снимают, извлекают модель и готовят форму к заливке. Последовательность изготовления формы при формовке в кессонах такая же.

Формовку по шаблону применяют в единичном производстве для получения отливок, имеющих форму тел вращения (различных шкивов, цилиндров и т. д.). В этом случае отпадает необходимость в дорогостоящих моделях, но в то же время требуются формовщики высокой квалификации. Формы получают выгребанием формовочной смеси закрепленными на специальных приспособлениях профильными досками, имеющими конфигурацию будущей отливки или ее частей. Такие профильные доски называются *шаблонами*. В настоящее время этот метод используют редко.

2. МАШИННАЯ ФОРМОВКА

Основную часть форм получают машинной формовкой. Машины позволяют механизировать две основные операции формовки (уплотнение смеси, удаление модели из формы) и некоторые вспомогательные (устройство литниковых каналов, поворот опок и т. д.). При механизации процесса формовки улучшается качество уплотнения, возрастает точность размеров отливки, резко повышается производительность труда, облегчается труд рабочего и улучшаются санитарно-гигиенические условия в цехе, уменьшается брак.

Процесс изготовления форм в парных опоках на машинах идет следующим образом. Формовочная смесь каким-либо транспортным средством (системой ленточных конвейеров или электротельфером с бадьей) подается в бункеры, установленные над машинами. Пустые верхняя и нижняя опоки с места выбивки форм подаются к машинам по рольгангам. Как правило, нижнюю полуформу изготавливают на одной машине, а верхнюю — на другой. На модель с модельной плитой, закрепленную на столе машины, устанавливают опоку, далее с помощью дозатора опоку заполняют смесью из бункера. Затем смесь уплотняют. Готовую полуформу снимают с машины и подают на приемное устройство, чаще всего рольганг, где полуформу отделявают (устраняют дефекты, делают вентиляционные каналы, наносят покрытие, если это необходимо, и т. д.) и затем транспортируют на сборку. Если форма должна быть высушена, то полуформы направляют в сушило и только после остывания и отделки — на сборку.

В массовом производстве мелких отливок иногда применяют *безопочную формовку*. Этот способ правильнее было бы называть способом безопочной заливки, так как формовку осуществляют в специальных опоках, которые после изготовления формы снимают. Способ позволяет значительно сократить парк

опок и облегчить выбивку отливок. Съемные опоки целесообразно применять для форм, изготавливаемых прессованием под высоким давлением.

Формовочные машины классифицируют по методам уплотнения смеси, удаления модели из формы и приведения в действие.

По методам уплотнения формовочной смеси различают следующие типы формовочных машин:

- прессовые с давлением прессования до $5 \cdot 10^5$ Па и более 10^6 Па;
- встряхивающие;
- пескометы;
- пескодувные;
- пескострельные;
- импульсные;
- вакуумные;
- специальные (уплотнение формовочной смеси отличается от перечисленных методов).

Прессовые машины могут быть с верхним и нижним прессованием. При *верхнем* прессовании (рис. 32, а) модельную плиту 2 с моделью 3 укрепляют на столе 1. Устанавливают опоку 4 высотой H с наполнительной рамкой 5 высотой h , затем в них насыпают формовочную смесь. Стол с опокой поднимается, и прессовая колодка 6, входя внутрь наполнительной рамки 5, уплотняет смесь. Прессование заканчивается в момент, когда вся формовочная смесь, находящаяся в наполнительной рамке, перейдет в опоку. Высота прессовой колодки и высота наполнительной рамки одинаковые. Степень уплотнения ρ смеси при верхнем прессовании неодинакова по высоте опоки. По мере удаления от прессовой колодки степень уплотнения уменьшается до определенного предела и затем несколько возрастает из-за сопротивления, которое оказывает жесткая плоскость модельной плиты передвижению смеси в процессе уплотнения. С увеличением высоты опоки увеличивается неравномерность уплотнения смеси. По этой причине высота опок не может превышать 250 мм.

В машинах с *нижним* прессованием (рис. 32, б) роль наполнительной рамки выполняет углубление h в неподвижном столе 7.

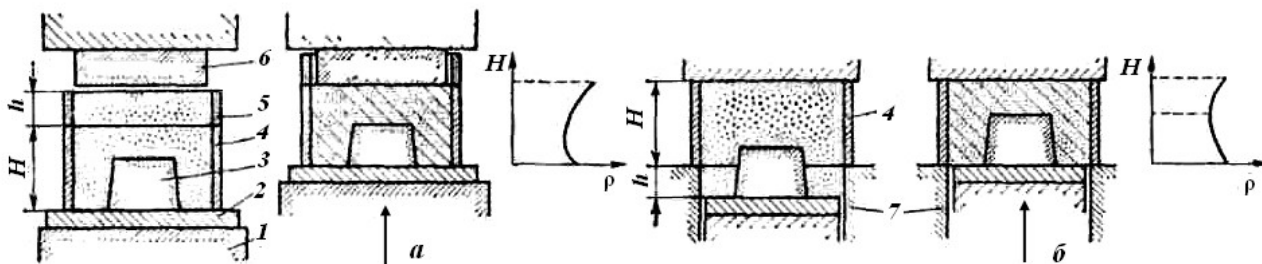


Рис. 32. Схемы верхнего (а) и нижнего (б) прессования и изменение плотности смеси по высоте опок

По сравнению с верхним прессованием максимальная степень уплотнения смеси достигается у модели. Этот вариант технологически более благоприятен, однако такие машины обладают худшими эксплуатационными качествами.

В некоторых машинах прессование осуществляется одновременно с вибрацией. Песчинки смеси совершают колебания с малой амплитудой и большой частотой, трение между ними и о боковые стенки опоки уменьшается. В результате прессование происходит эффективнее, смесь уплотняется равномернее. В этом случае можно применять более высокие опоки.

Прессовые машины, работающие под высоким давлением ($2 \cdot 10^6$ Па), позволяют уплотнять смеси в высоких опоках, которые ранее использовали на встряхивающих машинах, работающих с большим шумом. Прочность формовочной смеси при этом способе увеличивается за счет сцепления зерен песка, а не за счет сил связи между водными оболочками вокруг зерен песка. Поэтому на этих машинах можно использовать смеси с пониженной влажностью (1,5—3 %), что уменьшает брак отливок по газовым раковинам. Высокое давление прессования позволяет получать более точный отпечаток и изготавливать отливки с меньшими припусками на механическую обработку. С повышением плотности смеси увеличивается ее теплопроводность, ускоряется охлаждение отливки. Связь между плотностью смеси в форме и давлением прессования выражается формулой $\rho = \rho_1 + n \lg p$, где ρ_1 — средняя плотность смеси; p — давление прессования, $p = 10^6$ Па; n — изменение плотности смеси при изменении давления на 10^5 Па.

Более равномерное уплотнение формовочной смеси как по высоте, так и по поверхности формы достигается при использовании в качестве уплотняющего органа машины *эластичной диафрагмы* (рис. 33) или *многоплунжерной прессовой головки* (рис. 34).

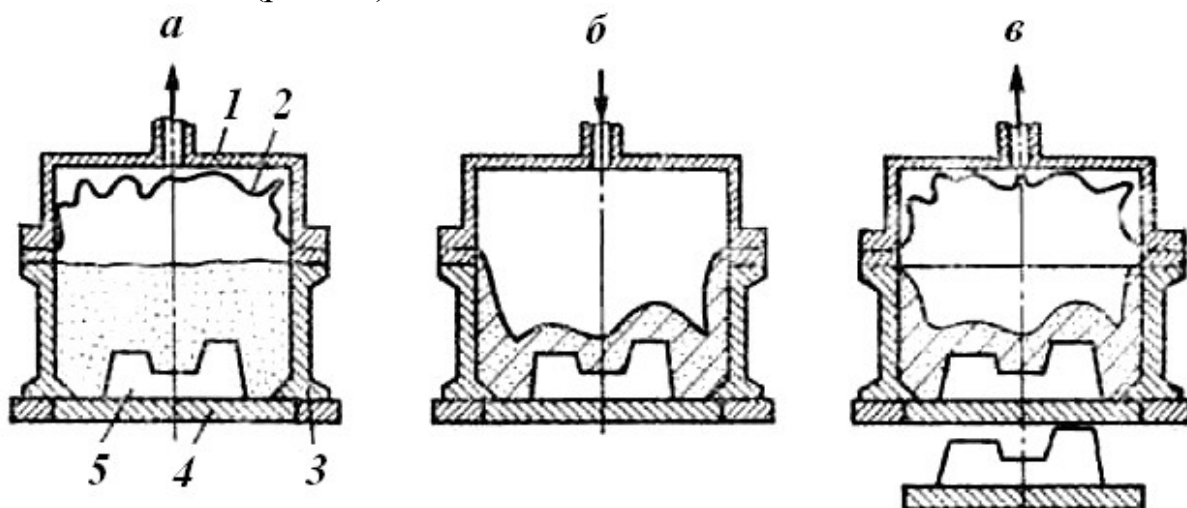


Рис. 33. Уплотнение формовочной смеси эластичной диафрагмой

В первом случае после заполнения установленной на модельной плите 4 опоки формовочной смесью к верхнему торцу 8 опоки прижимается кожух 1 с диафрагмой 2, в полость между которыми подается сжатый воздух (рис. 33, а). Диафрагма растягивается и равномерно уплотняет формовочную смесь (рис. 33, б). Давление воздуха передается прежде всего в места, допускающие наибольшее сжатие формовочной смеси и расположенные над низкими частями модели 5. Поверхность диафрагмы принимает волнообразную форму, в

результате чего ее площадь превышает площадь опоки примерно на 40 % и соответственно на 40 % возрастает общее давление на форму. Давление сжатого воздуха, а, следовательно, и прессования равно $(5-6) \cdot 10^6$ Па. Уплотнив формовочную смесь в опоке, диафрагму извлекают (рис. 33, в), создавая в пространстве над ней разрежение.

Указанный способ обеспечивает высокую и равномерную плотность смеси во всех частях формы и позволяет изготавливать формы размером до 9000x3000x1500 мм как из обычных песчаных смесей, так и из быстротвердеющих смесей с последующей их продувкой CO_2 , который подается в полость между диафрагмой и формовочной смесью. Недостатком метода является низкая стойкость диафрагмы, которая выдерживает до 60 000 формовок.

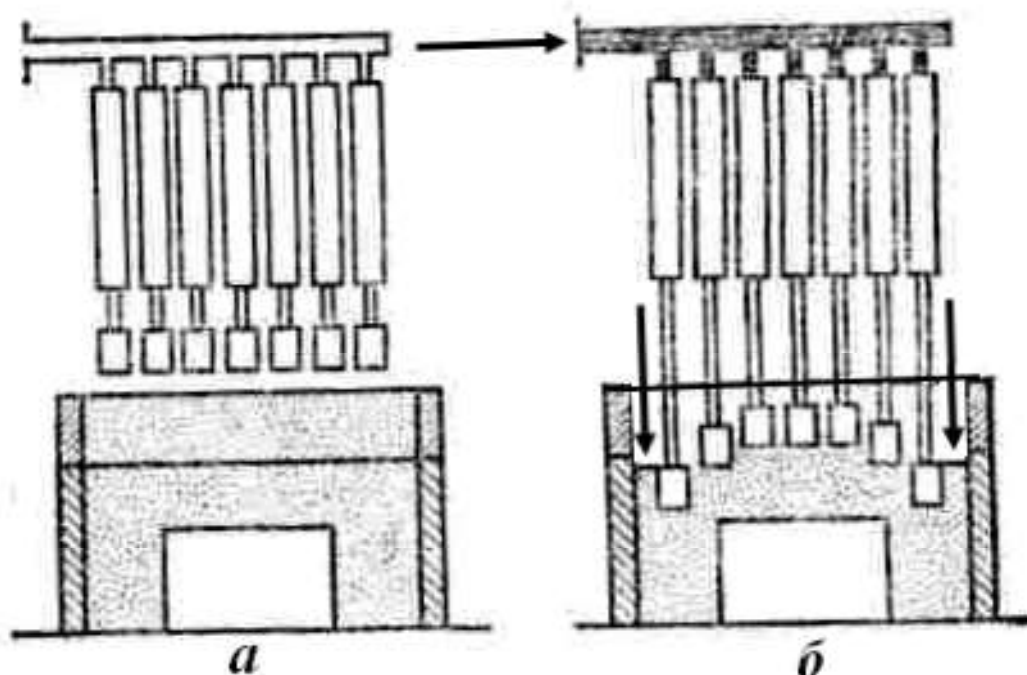


Рис. 34. Уплотнение формовочной смеси прессовой многоплунжерной головкой

Метод прессования многоплунжерной головкой является модификацией диафрагменного прессования (рис. 34, а). В систему прессования подается масло, давление которого может регулироваться в широких пределах. Цилиндры всех плунжеров соединены друг с другом. Перетекание масла между ними и приводит к тому, что на каждую прессующую колодку (башмак) передается одинаковое по величине давление. Ход перемещения башмака зависит от сопротивления, оказываемого уплотняемой частью формовочной смеси (см. рис. 34, б). Чем оно выше, тем на меньшую высоту перемещается башмак. В результате плотность формовочной смеси в опоке оказывается примерно одинаковой.

Встряхивающие машины. На столе 3 машины (рис. 35, а) укреплена плита 2 с моделью, на которую устанавливают опоку / и заполняют ее формовочной смесью. Стол поднимается под давлением воздуха на 30—80 мм. После того

как поршень 4 дойдет до отверстия 5, сжатый воздух выйдет, и стол, падая, ударится о преграду. Уплотнение происходит под действием силы тяжести смеси. Число ударов стола о преграду — борта пневматического цилиндра — составляет 30—50 в минуту.

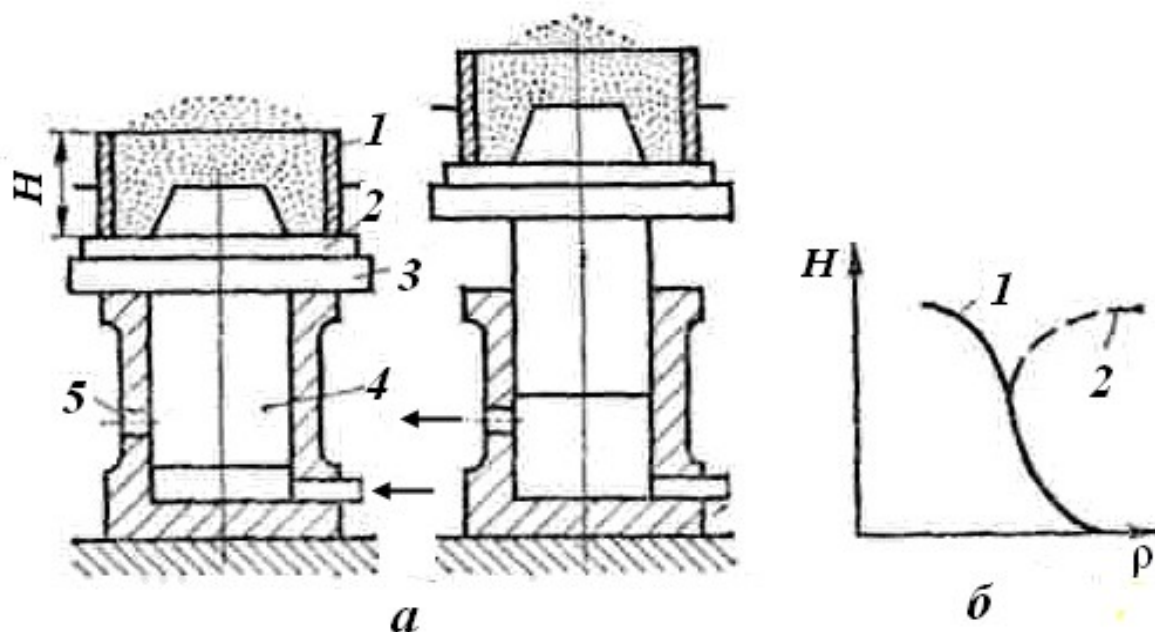


Рис. 35. Схема работы встряхивающей формовочной машины и распределение степени уплотнения смеси по высоте опоки

При встряхивании наиболее сильно уплотняются нижние слои, непосредственно прилегающие к модельной плите. По мере удаления от плиты масса вышележащего слоя смеси уменьшается, а, следовательно, уменьшается степень уплотнения. Верхний слой смеси остается практически не уплотненным. Характер плотности смеси по высоте опоки при встряхивании описан кривой 1 на рис. 35, б. Верхние слои смеси в опоках дополнительно уплотняют подпрессовкой. С этой целью на машинах устанавливают специальные устройства. Характер распределения плотности смеси по высоте опоки после встряхивания и подпрессовки описывается кривой 2 на рис. 35, б.

Пескометы. Основной рабочей частью пескомета является головка. Внутри ее кожуха с большой скоростью вращается ротор с одной или двумя лопатками 3 (рис. 36, а). Скорость вращения ротора 1500 об/мин. Через отверстие 4 в кожухе 1 лопатки выбрасывают смесь 5, которая в головку подается транспортером 2. При падении за счет силы тяжести смесь уплотняется.

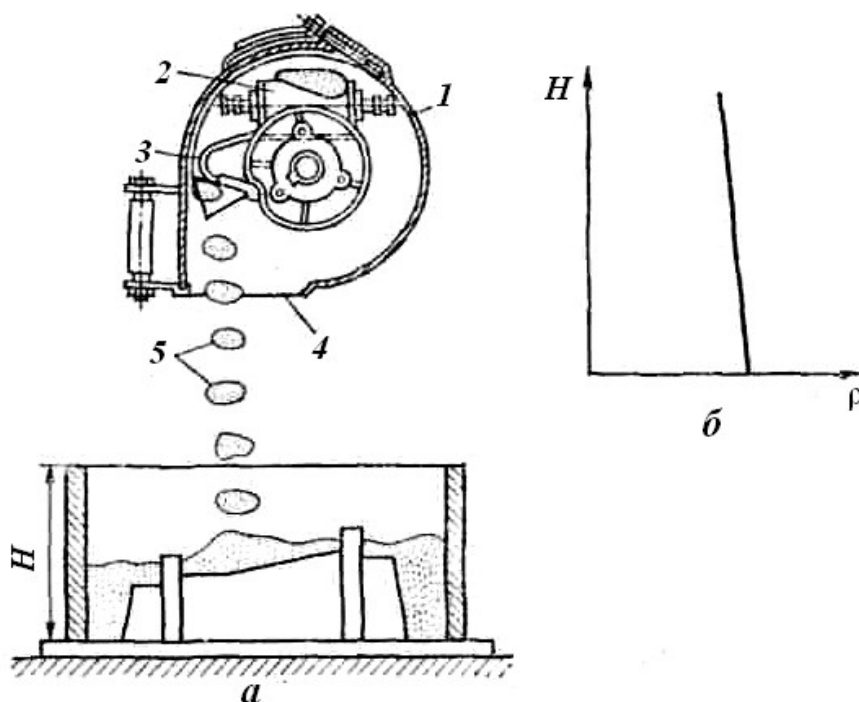


Рис. 36. Схема уплотнения смеси пескометом и распределение степени уплотнения смеси по высоте опоки

Головку монтируют на подвижной консоли пескомета, что дает возможность перемещать ее в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Формы или стержни с помощью пескометов изготавливают двумя способами: перемещением пескомета относительно неподвижных опок или стержневых ящиков и перемещением опок или стержневых ящиков с помощью транспортных устройств относительно неподвижно установленного пескомета. Степень уплотнения смеси по высоте опоки практически одинаковая (рис. 36, б). Производительность пескометов составляет обычно не менее 10—12 м³/ч формовочной смеси, поэтому их целесообразно применять для изготовления средних и крупных форм и стержней. Пескометы только заполняют опоки смесью и уплотняют ее. Другие операции формовки они не выполняют.

Пескодувные машины. Формовочную (стержневую) смесь вдувают в опоку (стержневой ящик) под большим давлением. Машина имеет пескодувный резервуар 3, периодически заполняемый смесью из бункера 9. Вибратор 10 предусмотрен для предупреждения зависания смеси в бункере. Заполненный резервуар перемещается Цилиндром 6 по рольгангу 7 на рабочую позицию (рис. 37, а). При этом бункер 9 перекрывается шиберным затвором 8. Стержневой ящик 1 прижимается столом 2 к вдувной плите 4.

Сжатый воздух по распределителю 5 поступает в пескодувный резервуар и через вдувные отверстия выносит песчано-воздушную массу в полость опоки и уплотняет ее. В опоке имеются отверстия (венты), закрытые сеткой и предназначенные для выхода воздуха из полости опоки. В основном смесь уплотняется за счет перепада давления в верхней части ящика, у вдувных отверстий и вент (внизу, сбоку ящика). Если изготавливаемый стержень имеет

сложную конфигурацию, то венты следует располагать в труднодоступных для смеси местах ящика.

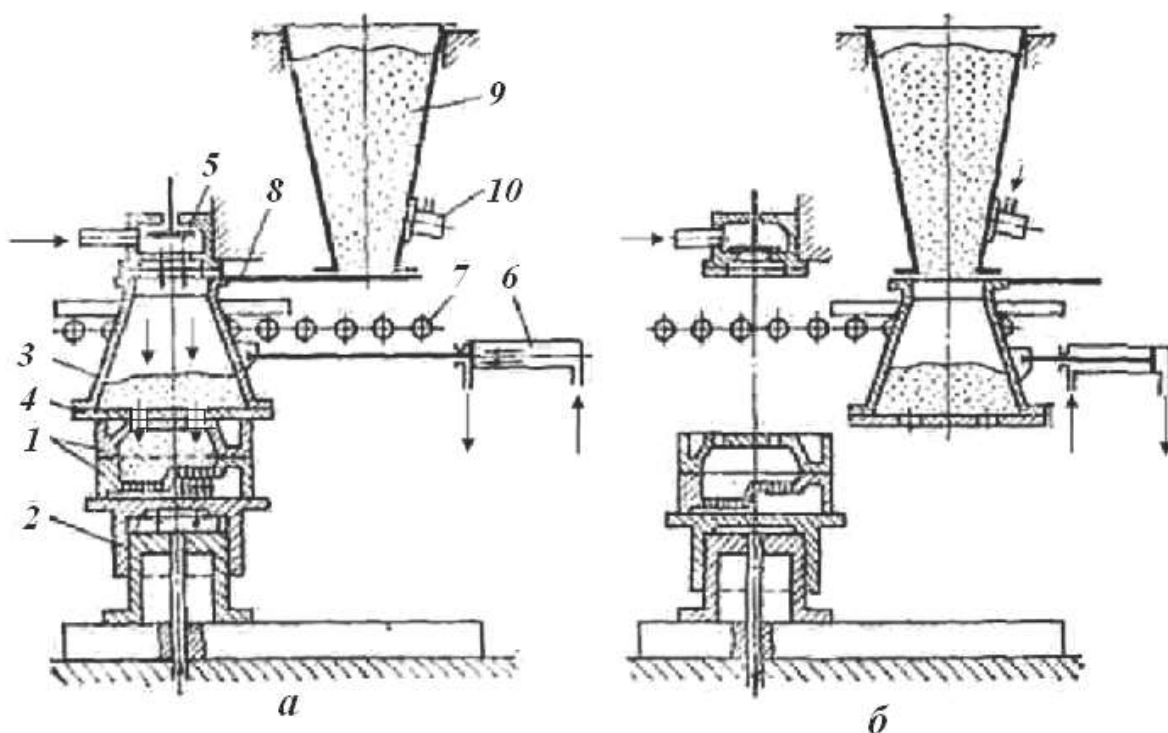


Рис. 37. Схема работы пескодувной машины: *а* — наддув смеси в стержневой ящик; *б* — заполнение пескодувного резервуара смесью

Пескострельные машины. Пескострельные машины являются разновидностью пескодувных. Смесь из бункера 1 через шибер 2 подается в рабочий резервуар 3 и уплотняется при мгновенном перемещении из пескострельного резервуара через вдувное отверстие в стержневой ящик (опоку) под давлением воздуха. Сжатый воздух из резервуара 8 (рис. 38) через быстродействующий клапан 9 большого сечения поступает в рабочий резервуар 3. Давление в резервуаре мгновенно повышается и ударно действует на смесь, выбрасывая ее через вдувное отверстие 6 в полость стержневого ящика 5. Сопло (вдувное отверстие) обязательно должно быть конической формы, чтобы воздух не прорвался в стержневой ящик и не ухудшил качество уплотнения смеси. Отверстия 7 во вдувной плите 4 необходимы для удаления воздуха, вытесняемого смесью из стержневого ящика. В стержневом ящике венты, как правило, отсутствуют, что в значительной степени удешевляет конструкцию ящика.

При этом не происходит образования воздушно-песчаной смеси. Отсутствие песчано-воздушной массы резко снижает абразивное действие потока смеси на оснастку, что позволяет применять деревянные ящики. На пескострельных машинах в нашей стране и за рубежом изготавливают преимущественно стержни.

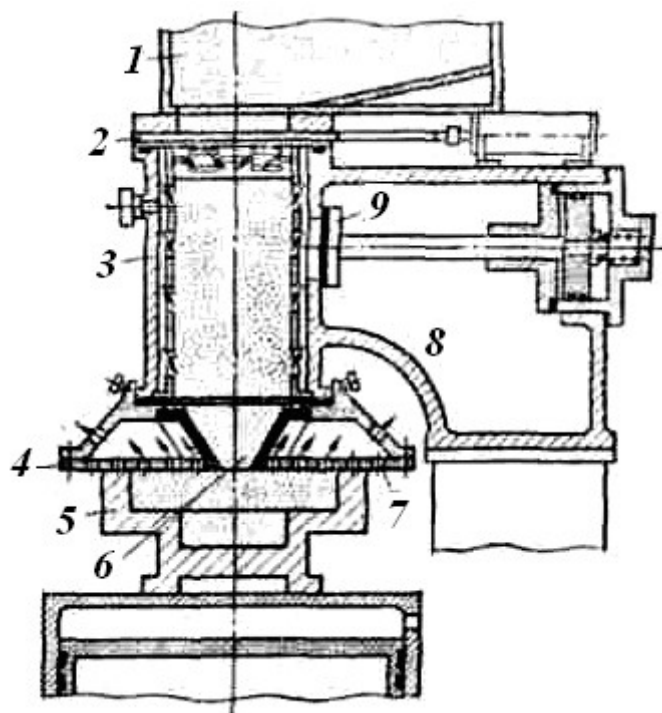


Рис. 38. Схема работы пескострельной машины

Импульсные машины. Уплотнение смеси происходит за счет удара воздушной (газовой) волны.

Опока 3, установленная на модельной плите 5, после заполнения формовочной смесью подводится под импульсную головку — рабочий орган машины (рис. 39, а). Сжатый воздух под давлением $(6 - 10) \cdot 10^6$ Па через рассекаТЕЛЬ 1 с большой скоростью поступает в полость формы. Под действием удара воздушной волны формовочная смесь 2 уплотняется в течение 0,02—0,05 с. Оставшийся воздух через вентили 4 удаляется. Верхние слои формовочной смеси уплотняют подпрессовкой с помощью плиты 6 (рис. 39, б).

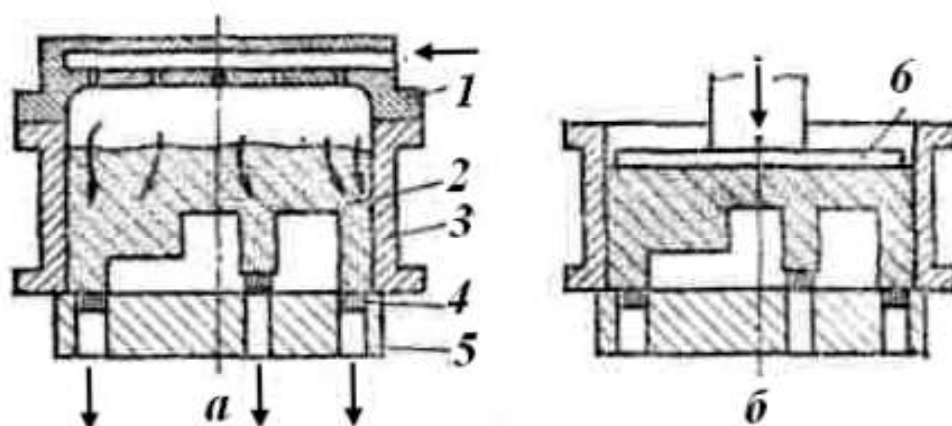


Рис. 39. Импульсное уплотнение формовочной смеси с последующей подпрессовкой

При использовании обычных песчано-глинистых смесей поверхностная твердость формы достигает 89—94 единиц. Максимальное уплотнение смеси соответствует разьему полуформы. Степень уплотнения регулируется исходным давлением воздуха в импульсной головке. Этот метод формовки позволяет использовать и смеси повышенной прочности (до 0,2 МПа). Колебания свойств смесей в заводских условиях практически не влияют на процесс формообразования. Улучшение технологических параметров литейной формы повышает геометрическую точность отливок, снижает брак, улучшает санитарно-гигиенические условия труда за счет полного устранения вибрации и шума. Импульсную формовку можно применять для изготовления отливок различной номенклатуры в опоках размерами до 3000х2000х2500 мм.

Вакуумные машины. Изготовление форм основано на формообразовании и придании им определенной прочности за счет разности давлений с внешней стороны формы (атмосферного) и внутри, между частицами песка. Модель 4 и модельную плиту 5, соединенную вентами 3 с камерой 6, покрывают термопластичной пленкой 2, предварительно подогретой до температуры размягчения с помощью электрических нагревателей 1 (рис. 40, а). После накрытия модели пленкой в камере 6 создается вакуум, глубина которого зависит от размера форм. Под действием вакуума пленка прилипает к модели и подмодельной плите (рис. 40, б), на которую устанавливают опоку 7 (рис. 40, в) специальной конструкции с полыми стенками и засыпают кварцевый песок или другой огнеупорный материал (рис. 40, г). Песок уплотняется вибрацией. После уплотнения верхняя поверхность опоки перекрывается пленкой (рис. 40, д) и в опоке образуется вакуум. Затем при сохранении вакуума в изготовленной полуформе в камере 6 создается небольшое давление, и модель извлекается (рис. 40, е).

Аналогично изготавливают вторую полуформу. При установке стержней, сборке формы, заливке ее металлом и в период затвердевания отливки в полуформах сохраняется вакуум (рис. 40, ж). В процессе заливки пленка, оформляющая рабочую полость формы, сгорает, а верхняя пленка остается. После охлаждения отливки до заданной температуры вакуум снимается, и отливка свободно удаляется из опок (рис. 40, з). Песок используют многократно. Метод вакуумной формовки имеет следующие преимущества: отпадает необходимость в связующих материалах и выбивных устройствах, увеличивается срок службы моделей, так как наличие пленки устраняет контакт песка с моделью, резко снижается брак по газовым раковинам, повышается геометрическая точность отливок, обеспечивается высокое качество поверхности, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда. В настоящее время метод начинают применять в промышленности.

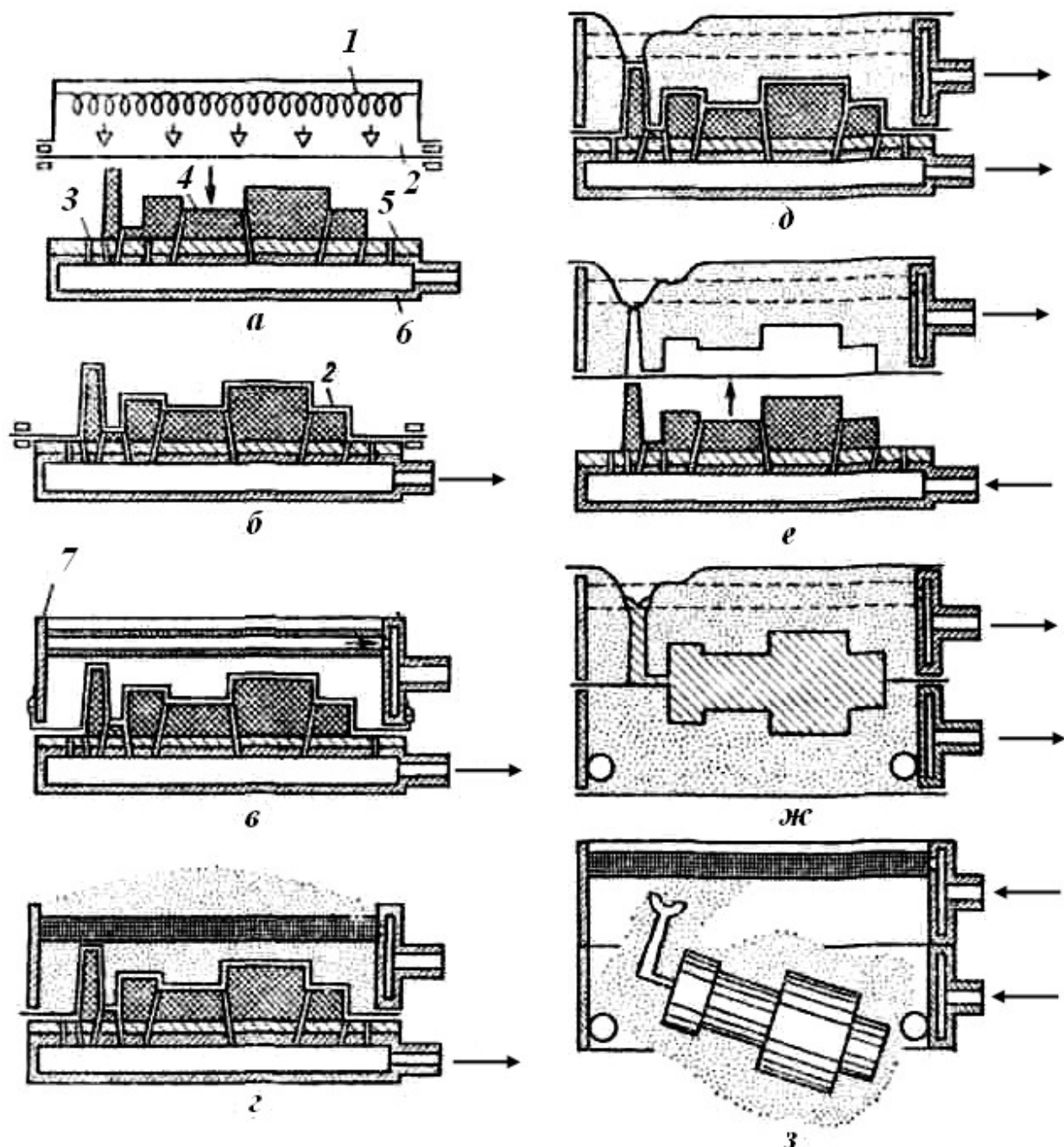


Рис. 40. Схема вакуумной формовки: *а* — нагрев термопластичной пленки и нанесение ее на модель; *б* — модель, покрытая пленкой; *в* — установка опоки; *г* — заполнение опоки песком; *д* — накрывание полуформы пленкой и создание разрежения в полости формы; *е* — создание давления под моделью и извлечение модели из формы; *ж* — залитая металлом форма и затвердевание отливки; *з* — удаление отливки из формы

Специальные машины. Примерами таких машин могут служить машины для формовки труб, уплотняющие смесь в опоках механическими трамбовками, или машины, уплотняющие смесь шнеками. Такие машины применяют сравнительно редко.

По методу извлечения модели из формы машины подразделяют на следующие типы:

— со штифтовым подъемом опок;

- с протяжкой модели;
- с поворотной плитой;
- с перекидным столом.

Машины со штифтовым подъемом опоки. После уплотнения смеси в опоке 1 четыре штифта 3 проходят через отверстия в модельной плите 2 и, упираясь в углы опоки, поднимают ее над моделью 4, которая вместе со столом 5 машины остается неподвижной (рис. 41, а).

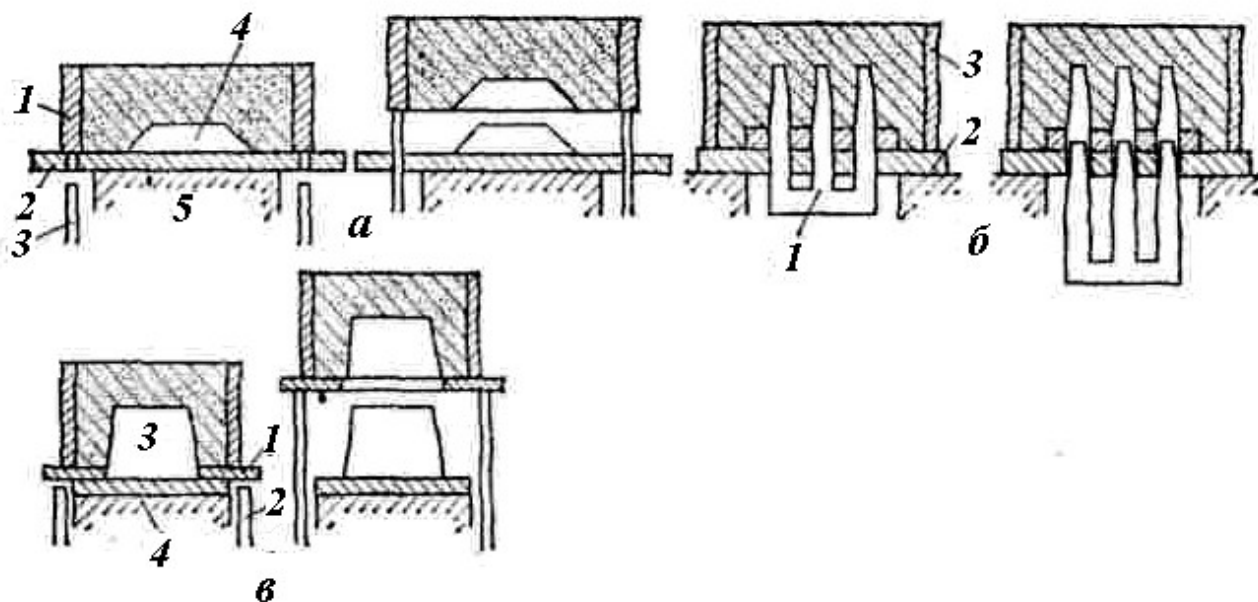


Рис. 41. Способы извлечения моделей из форм

Подъем штифтов и их передвижение осуществляется пневматическими цилиндрами. Для предупреждения перекосов опоки и разрушения формы необходимо, чтобы верхние концы штифтов были установлены точно на одном уровне. На практике такие машины применяют только для формовки по простым и невысоким моделям.

Машины с протяжкой модели. При формовке по модели, имеющей близко расположенные друг к другу высокие выступы или ребра, уплотненная смесь между этими ребрами легко обваливается вследствие трения ее о поверхность извлекаемой модели.

Поэтому для формовки сложных моделей целесообразнее применять машины с протяжкой модели.

Существует два способа протяжки: с проваливающейся моделью и в комбинации со штифтовым подъемом. При первом способе после уплотнения смеси в опоке 3 (рис. 41, б) модель 1 опускается специальным механизмом через прорези в неподвижной модельной плите 2. Затем опоку снимают с машины и отправляют на сборку. Выступающие части формы, расположенные между ребрами, при протяжке модели поддерживаются снизу неподвижной модельной плитой, поэтому они не обваливаются. При втором способе протяжки опоку устанавливают на специальной протяжной плите 1 (рис. 41, в).

Плита имеет прорези, соответствующие конфигурации модели 3. После уплотнения смеси в опоке модель, закрепленная на столе 4, остается неподвижной, а протяжная плита 1 поддерживающая кромку смеси около модели, вместе с опокой поднимается штифтами 2. С протяжной плиты опока снимается каким-либо транспортным устройством и отправляется на сборку форм.

Машины с поворотным столом. После уплотнения формовочной смеси в опоке стол 1, на котором закреплена модельная плита 2 с моделью и опока 3, поворачивается на 180° (рис. 42, а). Опока, отсоединенная от модельной плиты на приемном столе 4, опускается, и модель извлекается. Готовая полуформа по транспортному устройству (чаще всего рольгангу) направляется на сборку.

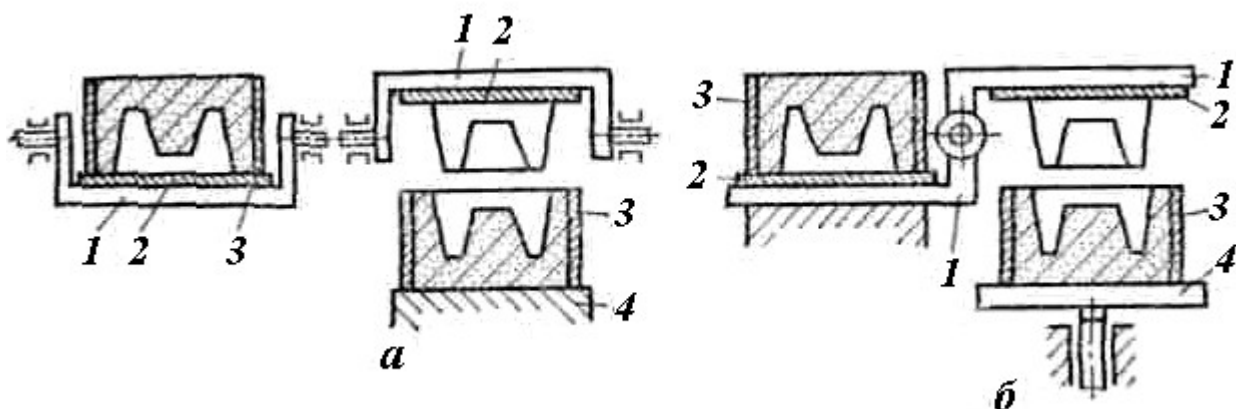


Рис. 42. Машины с поворотной плитой (а) и перекидным столом (б)

Машины с перекидным столом. Принцип работы машины с перекидным столом (рис. 42, б) аналогичен принципу работы машин с поворотной плитой, а сами машины различаются только конструктивным исполнением.

По типу привода машины подразделяют на ручные, пневматические, гидравлические, механические и электрические.

Машины с ручным приводом малопроизводительны и в настоящее время почти не применяются.

Пневматические машины наиболее распространены. Они просты по конструкции и обслуживанию, работают от сети сжатого воздуха под давлением $(5 - 7) \cdot 10^5$ Па

Гидравлический привод более компактен, рабочая жидкость находится под давлением $5 \cdot 10^6$ Па — 10^7 Па и обеспечивает необходимую плавность движения рабочих органов машины. Существуют машины с пневмогидравлическим приводом.

Механический привод имеют только пескометы.

Электропривод в настоящее время не получил еще широкого распространения.

Каждый класс машин обладает определенными преимуществами и недостатками, которые в итоге определяют область их применения. Обычно на прессовых формовочных машинах получают удовлетворительные по качеству формы при использовании невысоких (до 250 мм) опок. Кроме того,

конструктивные особенности этих машин ограничивают возможность изготовления крупных форм (размером более 1000x1200 мм). Прессовые машины, работающие под высоким давлением, позволяют получать формы в опоках высотой 500 мм с большей степенью уплотнения и использовать смеси с пониженной влажностью, что улучшает качество отливок. Высокая производительность и бесшумная работа обуславливают все более широкое распространение этих машин.

Встряхивающие машины дают возможность изготавливать полуформы в опоках любых размеров, но для них нерационально использовать опоки высотой меньше 200 мм. Наилучшее уплотнение достигается при встряхивании с последующей подпрессовкой. Встряхивающие машины с прессовыми колодками являются наиболее распространенными формовочными машинами, но в последние годы их вытесняют прессовые машины, работающие под высоким давлением, а также машины других типов. Встряхивающие машины работают с большим шумом.

Пескомет механизмирует заполнение опок, и уплотнение смеси, но извлечение модели из формы производят отдельно. Пескомет рациональнее использовать для уплотнения крупных форм в единичном и мелкосерийном производстве.

Пескодувные и пескострельные машины обладают высокой производительностью, дают качественное уплотнение смеси. Особого внимания заслуживают пескострельные машины. По сравнению с пескодувными машинами расход воздуха в них меньше, шире диапазон применяемых смесей. На пескодувных и на пескострельных машинах можно получать стержни любой сложности.

Широкое развитие получают формовочные импульсные и вакуумные машины. Их использование не только улучшает качество отливок и повышает производительность труда, но и создает более комфортные условия в литейных цехах, поскольку значительно снижается пыле- и газовыделение на всех стадиях технологического процесса изготовления отливок, резко уменьшается уровень шума. Конструкция этих машин позволяет использовать их в автоматических формовочных линиях.

Автоматические формовочные линии. Формовочные машины выполняют трудоемкие процессы формовки (уплотнение смеси, извлечение модели), но все-таки многие мелкие операции, снижающие производительность (очистка моделей, установка опок и т. д.), выполняются вручную. В нашей стране и за рубежом созданы высокопроизводительные формовочные линии, в которых механизированы все операции. В состав автоматических и полуавтоматических формовочных линий входят формовочные машины, которые бывают однопозиционными проходными и многопозиционными карусельными. На однопозиционных проходных машинах все операции формовки осуществляются последовательно: обдув модели воздухом, подача смеси в опоку, уплотнение, снятие полуформы с модельной плиты и подача ее на приемное устройство.

Многопозиционные карусельные машины имеют четыре и более позиций, расположенных через равные интервалы на круглом столе. На всех позициях одновременно выполняются различные технологические операции.

На рис. 43 приведена схема работы автоматической однопозиционной проходной встряхивающей формовочной машины с протяжной рамой.

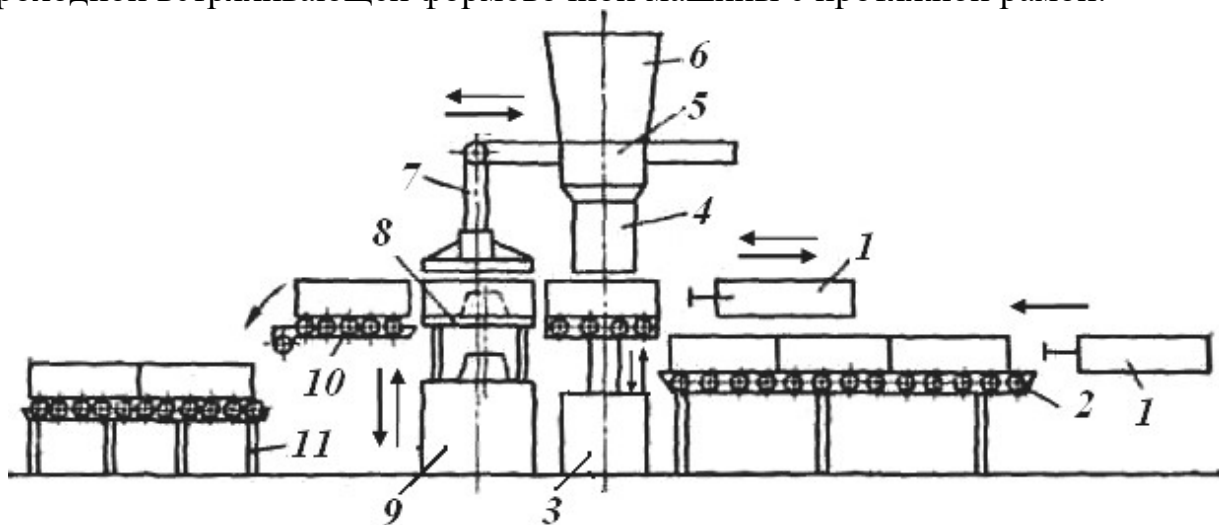


Рис. 43. Автоматическая однопозиционная проходная встряхивающая формовочная машина с протяжной рамой

С участка выбивки пустые опоки толкателем 1 по рольгангу 2 подаются к машине. Шаг подачи опоки равен размеру опоки по ширине. Подъемный стол 3 в нижнем положении находится на одном уровне с подающим рольгангом 2 и является как бы отдельной секцией рольганга. Опока толкателем перемещается на подъемный стол 3. В это время протяжная рама 5 с заформованной опокой находится на одном уровне со столом 10. С помощью толкателя 1 пустая опока сталкивается полуформой с протяжной рамы и занимает ее место. Одновременно дозатор 5 с воронкой 4 и прессовая траверса 7 перемещаются до тех пор, пока воронка не расположится над пустой опокой. Протяжная рама с пустой опокой опускается на модельную плиту, открывается днище дозатора, и отмеренная порция формовочной смеси через воронку высыпается в опоку. Затем начинается процесс встряхивания. Пустой дозатор с воронкой перемещается вправо под бункер 6, из которого поступает очередная порция смеси.

Вместе с дозатором передвигается и прессовая траверса. Она останавливается под столом машины. К этому моменту встряхивание заканчивается, и прессовый поршень 9 поднимает стол и с ним модельную плиту и опоку. С помощью прессовой траверсы подпрессовываются верхние, слабо уплотненные при встряхивании слои формовочной смеси. Затем прессовый поршень начинает опускаться вместе с модельной плитой и опокой. Протяжная рама с опокой останавливается на одном уровне с приемными стелами, а модель с плитой, жестко укрепленной на столе, продолжают опускаться, осуществляя тем самым протяжку модели. Готовая полуформа последующей пустой опокой сталкивается на стол-кантователь 10, который, поворачиваясь на 180°, ставит полуформу разъемом вверх на приемный

рольганг 11. Стол-кантователь делают в машинах, предназначенных для изготовления нижних полуформ, так как он выдает их в удобном для сборки форм положении. В машинах для изготовления верхних полуформ стола-кантователя нет, готовая полуформа сталкивается сразу же на приемный рольганг. Готовые полуформы поступают на сборку.

На рис. 44 показана карусельная четырехпозиционная формовочная машина.

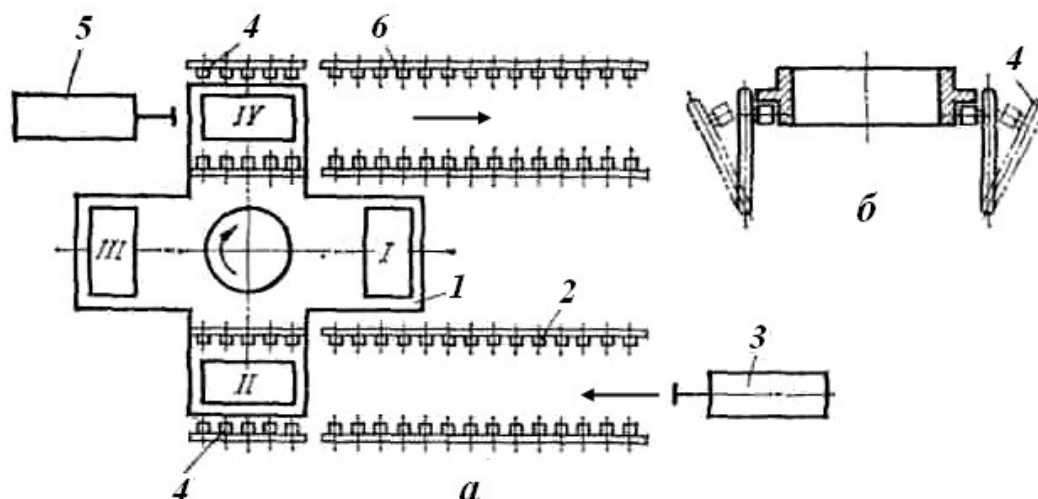


Рис. 44. Карусельная четырехпозиционная формовочная машина

Ее механизмы расположены неподвижно относительно перемещающихся на карусели полуформ. Во время работы карусель 1 периодически поворачивается на 90° (рис. 44, а). На I позиции осуществляется обдув и смазка модели. На II позиции на модельную плиту устанавливается пустая опока, которая подается толкателем 3 по рольгангу 2 на кромочный рольганг 4, а с него на модельную плиту. При этом секции кромочного рольганга расходятся (рис. 44, б). На этой же позиции опока заполняется смесью.

На III позиции смесь уплотняется встряхиванием с подпрессовкой. На IV позиции осуществляется протяжка модели и съем готовой полуформы с помощью толкателя 5 и кромочного рольганга 4. Затем по рольгангу 6 полуформы поступают на сборку. Механизмы всех позиций работают одновременно, что обуславливает высокую производительность машины. В качестве формообразующих агрегатов в автоматических и полуавтоматических линиях могут быть встроены формовочные машины, осуществляющие уплотнение формовочной смеси и другими способами (например, прессованием, импульсом, вакуумом и т. д.).

3. ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ

Стержни изготавливают в специальном отделении литейного цеха, которое называется стержневым. Стержни получают в ящиках, уплотняя смесь вручную либо на машинах, используя в основном пескодувный и пескострельный методы, реже встряхивание.

В зависимости от конфигурации и условий работы стержни делят на пять классов. Наиболее сложными являются стержни первого класса, которые можно изготавливать по частям, сушить, а затем склеивать. Размеры и конфигурацию стержней контролируют специальными шаблонами.

Для увеличения прочности стержней в них устанавливают металлические каркасы. Каркас не должен ухудшать податливость стержня, его вентиляцию, а также выбиваемость. С этой целью его укладывают на определенном расстоянии от поверхности стержня (в мелких стержнях на 10—15 мм, в средних на 20—30 мм, в крупных на 60—80 мм). Каркас может быть изготовлен из проволоки или в виде литых рамок. Проволочный каркас используют в средних стержнях, имеющих небольшие сечения (стержни I и II классов), рамки — в крупных массивных (стержни III—V классов).

Стержни, за исключением химически твердеющих, после изготовления сушат. С этой целью их устанавливают на плоскую или фасонную сушильную плиту и подают в сушило. Контроль стержней заключается в проверке размеров шаблонами или другими мерительными инструментами. Кроме размеров, оценивают качество поверхностей — определяют наличие трещин, заусенцев и т. д. Трещины в стержнях и соединительные швы, образующиеся в местах склеивания, заделывают стержневой смесью или специальной пастой.

Склеивают стержни и исправляют дефекты вручную с помощью специальных приспособлений. Затем их окрашивают ровным слоем толщиной не более 1—1,5 мм (с помощью пульверизатора или окунанием) и после подсушки подают на склад, а оттуда на сборку.

Из всех операций по изготовлению стержней наибольшее время затрачивается на их высушивание. Существенно сократить цикл позволяет применение химически твердеющих смесей, содержащих в качестве связующего жидкое стекло или искусственные смолы. Стержни из жидкостекольной смеси твердеют при продувке углекислым газом за 0,5—5 мин.

Стержни из песчано-смоляных смесей изготавливают в металлических ящиках, нагретых до 250—350 °С. Твердение стержней в оснастке существенно повышает их точность и прочность. Цикл изготовления стержня составляет 0,5—5 мин. Стержневой ящик нагревают электронагревателями, встроенными в его тело, или газовыми горелками. Ящик заполняют стержневой смесью либо свободной засыпкой, либо на пескодувных машинах, которые могут быть как одно-, так и многопозиционными.

В единичном и мелкосерийном производстве отливок, например, при изготовлении изложниц и других деталей металлургического оборудования, формы и стержни получают из жидкоподвижных самотвердеющих смесей. Жидкоподвижная масса, хорошо заполняющая внутреннюю полость стержневого ящика, затвердевает в течение 50—60 мин. Применение этих смесей позволяет использовать деревянные стержневые ящики, исключает операции уплотнения смеси и тепловую сушку стержней, сокращает общую трудоемкость и цикл изготовления.

Аналогичными преимуществами обладает и процесс изготовления стержней из холоднотвердеющих смесей. В состав таких смесей, кроме песка, входят фурановые смолы и отвердитель. Количество отвердителя, в качестве которого часто используют ортофосфорную кислоту, зависит от размеров стержней и времени, в течение которого эта смесь используется. Отвердитель вводят в смесь перед заполнением ею стержневого ящика. Время твердения стержня колеблется от 15 до 300 с. При использовании этих смесей должна быть обеспечена хорошая вентиляция стержневого отделения.

4. СУШКА, ПОДСУШКА И ХИМИЧЕСКОЕ ТВЕРДЕНИЕ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ

Сушка форм и стержней повышает их прочность и уменьшает газотворность. Сначала их медленно нагревают до 100 °С, чтобы избежать растрескивания поверхностей. Далее температуру повышают до заданного значения и выдерживают формы или стержни при этой температуре в течение необходимого для высушивания времени. После этого сухие формы (стержни) медленно охлаждают до 50—70 °С, предупреждая растрескивание и осыпание поверхностных слоев.

Температура зависит от природы связующего материала, а время выдержки — от конфигурации и толщины стенки формы (стержня). Формы (стержни), приготовленные из смесей с органическими связующими, сушат при температуре 180—240 °С, из песчано-смоляных смесей — при температуре 200—280 °С, из песчано-глинистых смесей — при температуре 300—350 °С. Чем сложнее конфигурация стержня (формы) и толще стенка, тем больший период времени необходим, чтобы вся масса формы или стержня прогрелась до заданной температуры. Время сушки колеблется от нескольких минут до часа. В большинстве случаев формы сушат в камерных печах периодического действия. В таких же печах при единичном и мелкосерийном производстве сушат крупные стержни.

Сушка удлиняет технологический цикл изготовления отливок, поэтому в ряде случаев ее заменяют подсушкой. Высокое качество отливок обеспечивается тогда, когда формы просушиваются на глубину 10—40 мм (от поверхности соприкосновения с металлом). Длительность этой операции составляет 25—30 мин. Подсушенные формы должны быстро заливаться металлом. В противном случае поверхности вновь увлажнятся за счет воды, сохранившейся в глубинных слоях формы. В цехах мелкосерийного производства подсушку осуществляют с помощью переносных сушил, в цехах серийного и крупносерийного производства — в стационарных проходных печах, встраиваемых в конвейерную линию.

При использовании химически твердеющих смесей сушка и подсушка форм не требуется. Например, применение смесей на жидком стекле с последующей продувкой форм или стержней углекислым газом позволяет получать стержень или готовую к заливке форму через 1—15 мин после начала их изготовления.

Получение стержней из песчано-смоляных смесей в подогретых ящиках, а также изготовление стержней из холоднотвердеющих смесей полностью исключает операцию сушки, что позволяет сократить производственные площади, увеличить производительность труда и снизить себестоимость отливок. Такие же результаты достигаются при устранении или сокращении времени сушки форм.

5. СБОРКА ФОРМ

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

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

Правильность установки стержней проверяют контрольными шаблонами и другими приспособлениями, которые входят в состав модельного комплекта. Одновременно со стержнями, когда это необходимо, устанавливают внутренние холодильники и строго их фиксируют относительно стенок формы и стержней. Затем проверяют все элементы литниковой системы, устанавливают фильтровальные сетки, очищают от загрязнений выпоры. После этого нижнюю полуформу накрывают верхней. Точность совмещения нижней и верхней полуформ обеспечивается стационарными или съемными контрольными штырями.

Для предотвращения подъема верхней полуформы под действием статического давления металла ее скрепляют с нижней полуформой (рис. 45). При заливке форм на конвейерах или рольгангах средние и мелкие формы чаще всего нагружают автоматически.

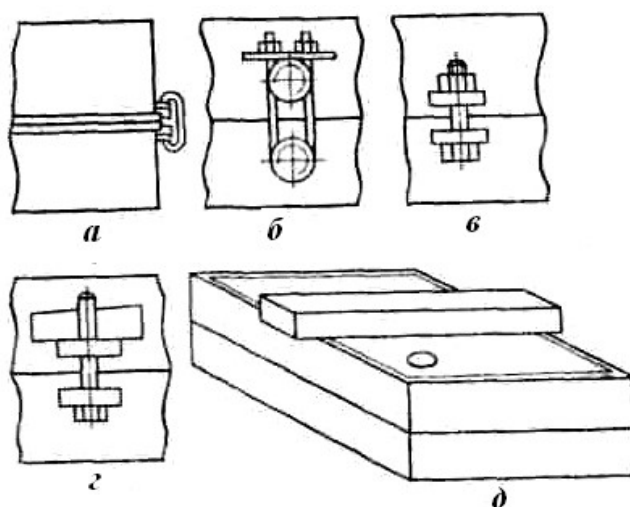


Рис. 45. Способы крепления полуформ: а — сковами; б — струбцинами; в — болтами; г — клиньями; д — установкой груза

Для определения массы груза необходимо знать силу действия металла на верхнюю полуформу. Сила, действующая на горизонтальную площадь формы, равна весу столба металла высотой до уровня металла в литниковой чаше или воронке.

Пример. Подсчитать массу груза, необходимого для крепления формы при заливке чугунной плиты размером $a \times b = 1 \times 0,5$ м.

Если отливка в форме располагается горизонтально (рис. 46, а), а стояк заполняется на высоту $h = 0,2$ м, то общее усилие B на верхнюю полуформу составит:

$$B = abh\rho = 1 \cdot 0,5 \cdot 0,2 \cdot 7000 = 700 \cdot 9,8 = 6860 \text{ Н},$$

где $\rho = 7000 \text{ кг/м}^3$ — плотность чугуна.

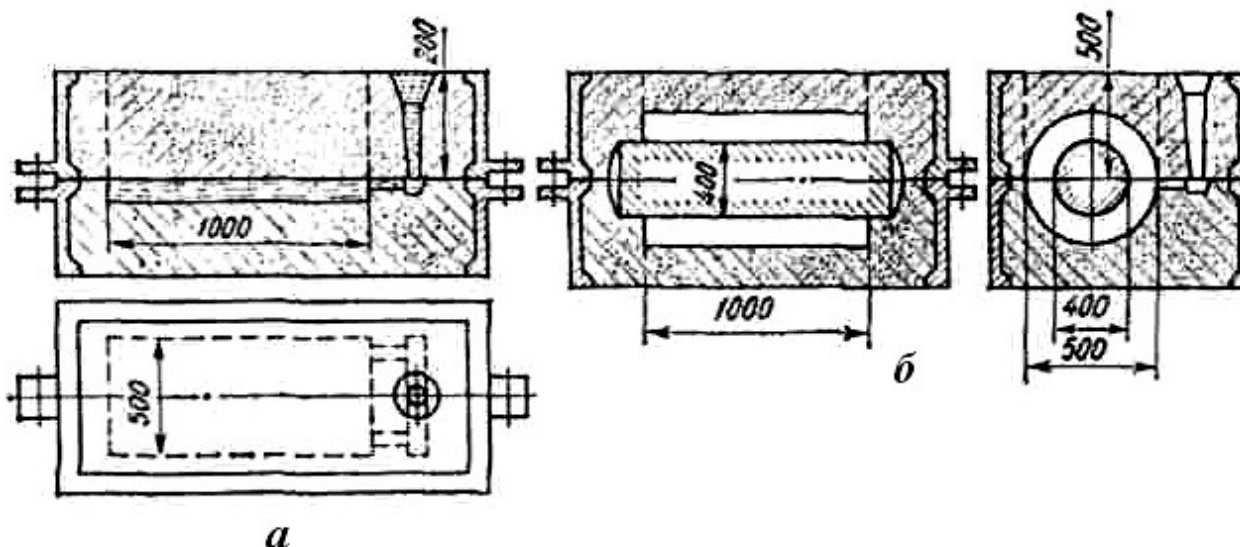


Рис. 46. К определению сил, поднимающих верхнюю опоку

Найденное усилие равно весу воображаемого столба металла. Если в форме есть омываемые металлом стержни (рис. 46, б), то общая сила B действия металла на верхнюю полуформу складывается из силы B_ϕ действия на внутреннюю поверхность верхней полуформы и силы B_c , выталкивающей стержень плотностью 1600 кг/м^3 :

$$B_\phi = 1 (0,5 \cdot 0,5 - 3,14 \cdot 0,5^2 : 4 : 2) 7000 = 1064 \cdot 9,8 = 10418 \text{ Н};$$

$$B_c = 0,4^2 \cdot 3,14 : 4 \cdot 1 (7000 - 1600) = 678 \cdot 9,8 = 6644 \text{ Н};$$

$$B = B_\phi + B_c = 10418 + 6644 = 17\,062 \text{ Н}.$$

Масса груза

$$M = B/g = 17\,062 : 9,8 = 1742 \text{ кг},$$

где g — ускорение свободного падения, м/с^2 .

Для определения усилия, которое должно выдерживать крепление опок, из значения B нужно вычесть вес верхней полуформы, а полученный результат увеличить, как показывает опыт, на 30%, чтобы учесть гидравлический удар металла при заполнении формы.

ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Литниково-питающая система — это система каналов и элементов литейной формы, предназначенная для подвода металла к полости формы, ее заполнения и питания отливки во время затвердевания. Первые две задачи выполняются литниковой системой и третья — прибылями, необходимыми для предотвращения образования в отливках усадочных раковин. В некоторых случаях, например при использовании сплавов с малой объемной усадкой или при отсутствии в отливке массивных частей, прибыли можно не предусматривать.

На рис. 47 показана литниково-питающая система.

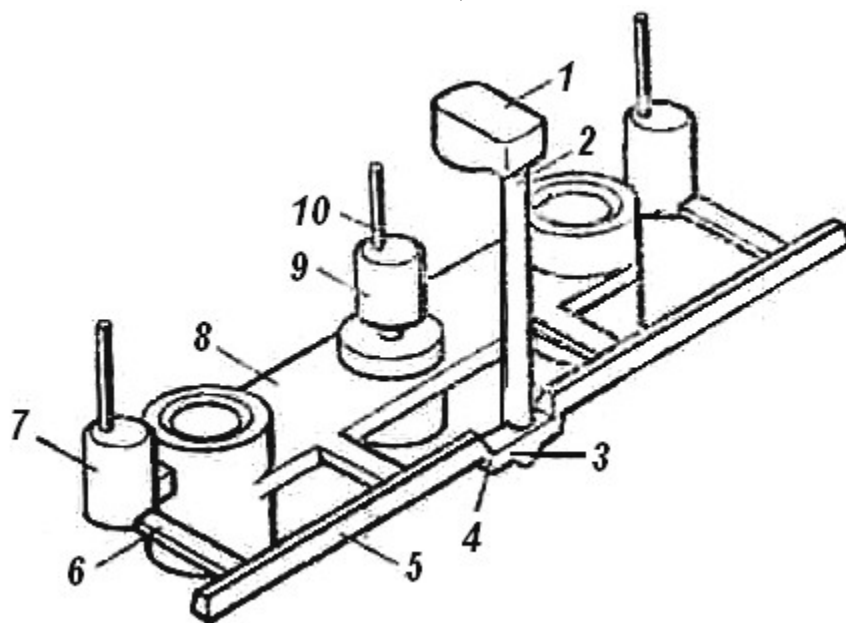


Рис. 47. Литниково-питающая система

Литниковая воронка или чаша 1 служит для приема металла из заливочного ковша. В чаше происходит частичное отделение от расплава шлаковых включений. Стояк 2, представляющий собой вертикальный канал для передачи металла другим элементам литниковой системы, заканчивается зумпфом 3 или углублением для частичного гашения динамической энергии потока металла. Дроссель 4 является гидравлическим сопротивлением, регулирующим скорость заполнения формы. В нем металл, проходя через суженное сечение, изменяет направление своего течения. Шлакоуловитель 5 предназначен для задерживания шлаковых включений и подвода металла к питателям 6. При разливке из стопорного ковша стали, свободной от шлаковых включений, он выполняет только распределительную роль и называется горизонтальным ходом. Для отливок из цветных сплавов этот канал называется коллектором. Через питатели 6 осуществляется заполнение расплавом рабочей полости формы.

Прибыли, одна из которых 9 верхняя сливная, а две другие 7 боковые проливные, предназначены для питания отливки 8 во время ее затвердевания.

Выпор 10 необходим для отвода воздуха и газов во время заливки и служит указателем ее окончания.

Проектирование литниковой системы является важным этапом технологического процесса и оказывает значительное влияние на качество и свойства получаемых отливок. Выбором подвода металла и регулированием его потоков при заполнении формы можно создавать необходимый режим охлаждения отливки и в определенной мере регулировать ее структуру и служебные свойства.

Литниковая система должна отвечать следующим требованиям:

- заполнять форму металлом за определенное время;
- обеспечивать минимальное количество неметаллических и газовых включений в металле;
- создавать рациональный режим затвердевания и охлаждения отливки;
- иметь небольшую массу, занимать мало места в форме и обеспечивать удобство формовки.

Определение времени заполнения формы является наиболее важной частью расчета литниковой системы, так как оно в наибольшей степени влияет на качество отливок. Продолжительное заполнение вызывает появление в отливках недоливов, неслитин в результате преждевременного охлаждения или затвердевания расплава, а также ужимин и засоров, возникающих в результате длительного теплового воздействия расплава на стенки формы. Ускоренное заполнение связано с появлением в отливках газовых раковин, напряжений, трещин и засоров из-за размыва формы металлом.

Удерживание шлаковых включений, вносимых вместе заливаемым металлом, обеспечивается правильной конструкцией литниковых чаш и шлакоуловителей. В чаше шлак всплывает на поверхность зеркала расплава, а более тяжелый металл уходит в стояк.

На практике наиболее часто применяют прямые шлакоуловители трапецевидного сечения (рис 48), в которых движение частицы шлака определяется скоростью ее движения в горизонтальном направлении $v_{ш.г}$ совместно с потоком металла и скоростью ее всплытия $v_{ш.в}$, т. е. скоростью в вертикальном направлении. Чем больше отношение $v_{ш.в} / v_{ш.г}$, тем быстрее частица достигнет потолка шлакоуловителя и не будет увлечена в питатель, а затем в полость формы.

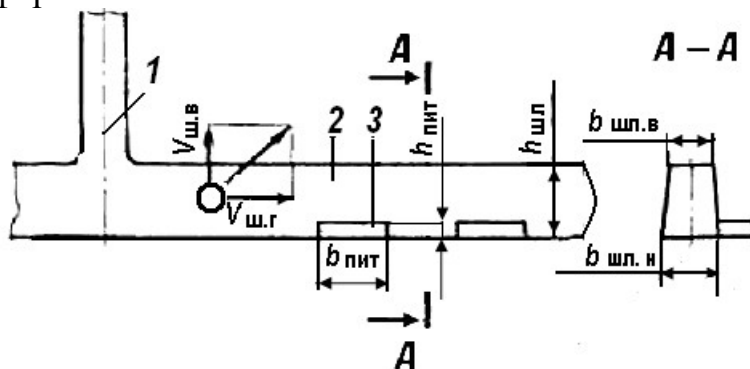


Рис. 48. Схема движения шлаковых включений в прямом шлакоуловителе:
1 — стояк; 2 — шлакоуловитель; 3 — питатель

Увеличение эффективности действия шлакоуловителя достигается обычно снижением $v_{ш.г}$ за счет пропорционального увеличения площади поперечного сечения шлакоуловителя. Дроссели, фильтры, перегородки в шлакоуловителях, являющиеся дополнительными сопротивлениями, также снижают скорость включений в горизонтальном направлении. Повышение температуры чугуна (увеличение $v_{ш.в}$) способствует лучшему шлакозадержанию за счет укрупнения шлаковых частиц и понижения вязкости металла.

Устранение окисления металла и засорения его неметаллическими включениями во время движения по каналам формы гарантируется ламинарными или с допустимой степенью турбулентности потоками металла. Невысокие линейные скорости поступления металла в полость формы устраняют разбрызгивание, нарушение сплошности струи и размывание стенок формы.

С помощью литниковой системы можно регулировать режим затвердевания и охлаждения отливки. Для создания направленного затвердевания от тонких к более массивным частям отливки и далее к прибыли, которая затвердевает последней, питатели необходимо подводить к массивным частям или непосредственно в прибыль. Для обеспечения одновременного затвердевания и снижения напряжения питатели подводят к тонким стенкам отливки.

Направленное затвердевание применяют для сталей, алюминиевых, магниевых и других сплавов, имеющих значительную объемную усадку и склонных к образованию усадочных раковин. Одновременное затвердевание целесообразно обеспечивать для сплавов с малой объемной усадкой и не дающих сосредоточенных усадочных раковин (серого чугуна, оловянных бронз и др.).

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Литниковые системы подразделяют по гидродинамическому признаку на сужающиеся и расширяющиеся и по направлению течения расплава в полость формы на верхние, боковые и нижние (сифонные).

Для сужающихся литниковых систем характерно последовательное уменьшение площадей поперечных сечений стояка, шлакоуловителя и питателей:

$$f_{ст} > f_{шл} > \Sigma f_{пит}$$

При наличии самого узкого места в питателях, лимитирующих расход металла, обеспечивается быстрое заполнение металлом всей системы и шлакоуловителя в целях лучшего улавливания шлака. Однако истечение металла в полость формы происходит с большой линейной скоростью, что может привести к разбрызгиванию и окислению расплава, захвату воздуха и размыву формы. Наиболее широко эти системы применяют в производстве чугунных отливок.

В расширяющихся литниковых системах узкое место чаще всего находится в нижнем сечении стояка:

$$f_{\text{ст}} < f_{\text{шл}} < \Sigma_{\text{пит.}}$$

Скорость потока от стояка к питателям последовательно снижается, в результате чего металл поступает в полость формы более спокойно, с меньшим разбрызгиванием, меньше окисляясь и размывая стенки формы. Расширяющиеся системы применяют при изготовлении отливок из стали, алюминиевых, магниевых и других легкоокисляющихся сплавов. В настоящее время наблюдается тенденция их использования и для чугуновых отливок.

На рис. 49 показаны литниковые системы с верхним (рис. 49, а), боковым (рис. 49, б—д) и нижним (рис. 49, е) подводом металла.

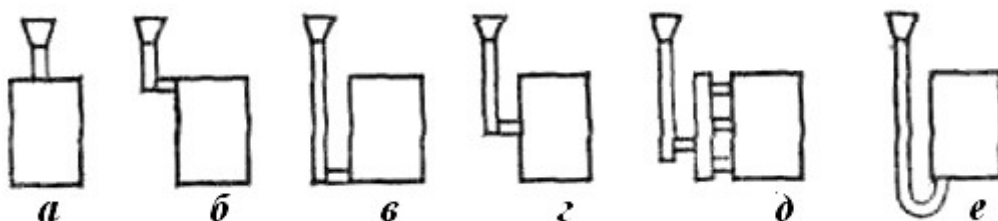


Рис. 49. Литниковые системы с различным подводом металла

Для систем на рис. 49, а, б характерным является то, что в течение всей заливки обеспечивается горячее зеркало расплава, что способствует направленному снизу вверх затвердеванию и устранению дефектов отливок, связанных с охлаждением и преждевременным затвердеванием головной части потока металла. Применять их для легкоокисляющихся сплавов нецелесообразно, так как падающая струя способствует образованию оксидных плен и пены.

В системах на рис. 49, б—г шлакоуловители и питатели расположены сбоку отливки в горизонтальной плоскости разъема формы, что удобно в отношении формовки. При машинной формовке наиболее часто используют систему, показанную на рис. 49, г.

В литниковых системах на рис. 49, в, е металл поступает снизу под затопленный уровень без разбрызгивания, окисления и вспенивания, что наиболее важно для легкоокисляющихся пленообразующих сплавов. Эти системы обычно применяют для отливок с отношением их высоты к толщине стенки не более 50, так как в противном случае форма может не заполниться металлом из-за преждевременного охлаждения и затвердевания головной части потока. Нижний подвод металла не способствует направленному снизу вверх затвердеванию отливки.

Ярусные литниковые системы (рис. 49, д) характеризуются последовательным действием питателей, начиная с нижних, по мере подъема уровня металла в полости формы. Эти системы, обеспечивающие спокойное заполнение и достаточно горячий металл в головной части потока, широко применяют при изготовлении крупных и тонкостенных отливок из черных и цветных сплавов.

2. РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

В расчетах используют законы гидравлики, эмпирические зависимости и номограммы. Расчет обычно сводится к определению площади поперечного сечения узкого места $f_{уз}$ литниковой системы с последующим определением площадей поперечных сечений остальных элементов системы. Основным является уравнение.

$$f_{уз} = M / (\rho \tau \mu \sqrt{2gH_p}), \quad (16)$$

где M — масса всех отливок в форме, включая боковые прибыли; ρ — плотность жидкого металла; τ — продолжительность заполнения формы; μ — коэффициент расхода металла; $0 < \mu < 1$; g — ускорение свободного падения; H_p — расчетный статический напор.

Время заполнения формы рассчитывают по формулам, которые можно представить в следующей обобщенной форме:

$$\tau = A \delta^m M^n,$$

где δ — толщина стенки (преобладающая) отливки, мм; M — масса отливки, кг; A , m , n — коэффициенты, значения которых приведены в табл. 9.

Таблица 9

Значения коэффициентов A , m , n для различных сплавов

Сплав	A	m	n
Чугун *	1,63—2,2	0	0,5
Чугун **	2	0,334	0,334
Сталь **	1,5	0,334	0,334
Алюминиевый **	1,7—3	0,334	0,334
Магнийевый **	2,3—4,5	0,334	0,334

* По данным Г. Дитерта. ** По данным Г. М. Дубицкого.

Наиболее часто используют зависимость вида $\tau = A \sqrt[3]{\delta M}$, в которой $m = n = 0,334$.

Коэффициент расхода μ , характеризующий суммарные гидравлические потери, определять расчетным методом затруднительно, так как литниковые каналы являются относительно короткими и, кроме того, заранее необходимо знать площади сечений и размеры всех элементов литниковой системы. Поэтому его обычно определяют экспериментально. В большинстве случаев $\mu = 0,4 \div 0,7$ (табл. 10).

Таблица 10

Коэффициент расхода μ для различных форм и сплавов

Форма	Чугун	Сталь
Мелкая	0,6/0,5	0,5/0,42
Средняя	0,48/0,42	0,38/0,32
Крупная	0,41/0,35	0,3/0,25

Примечание. В числителе приведены данные для сухой формы, в знаменателе — для сырой.

Наибольшее влияние на коэффициент расхода оказывает сама литниковая система: ее сложность, характер местных сопротивлений, число поворотов и др. Влияние полости формы незначительно, и только для самых сложных и тонкостенных отливок можно вносить поправку 5—7 % в сторону снижения коэффициента μ .

В первом приближении можно пользоваться некоторыми практическими рекомендациями. По мере перехода от нижних к верхним литниковым системам коэффициент расхода увеличивается. Так, например, боковая (см. рис. 49, *з*) и нижняя (см. рис. 49, *в*) литниковые системы по сравнению с верхней (см. рис. 49, *б*) имеют меньшие значения μ соответственно на 0,1 и 0,2. При повышении температуры заливки на 50 °С к значению μ прибавляют 0,05. Если полость формы имеет слабую вентиляцию, то μ уменьшают на 0,05.

При заливке через литниковую чашу происходит полное гашение энергии струи металла, падающей из ковша. Расчетный статический напор в этом случае (рис. 50, *а*)

$$H_p = H_0 - p^2/(2c),$$

где H_0 — начальный напор или расстояние от горизонтальной оси питателей до верхнего уровня металла в чаше; p — расстояние от горизонтальной оси питателей до верха отливки; c — высота отливки.

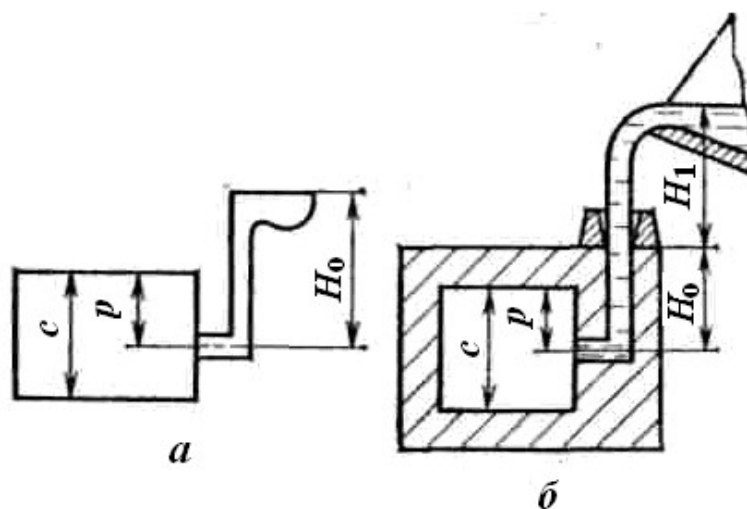


Рис. 50. К определению расчетного статического напора при заливке металла через литниковую чашу (*а*) и воронку (*б*)

Для литниковых систем на рис. (49, *а*, *б*) $p = 0$ и $H_p = H_0$ и для систем на (рис 49, *в*, *е*) $p = c$ и $H_p = H_0 - c/2$. Если заливка ведется через литниковую воронку (рис. 50, *б*), то расчетный статический напор

$$H_p = H_0 - p^2/2c \chi(2c) + Я_1,$$

где H_0 — расстояние от оси питателей до верхней кромки верхней опоки; H_1 — расстояние от верхней кромки верхней опоки до уровня металла в поворотном ковше.

После определения площади сечения узкого места по формуле (16) рассчитывают площади поперечных сечений остальных элементов системы. На

практике наиболее часто используют следующие соотношения площадей поперечных сечений стояка, шлакоуловителя и питателей:

для чугунов

$$f_{\text{ст}} : f_{\text{шл}} : \Sigma f_{\text{пит}} \text{ составляет} \quad \begin{array}{l} 1 : 1,2 : 1,5; \\ 1 : 1,5 : 1,2; \\ 1 : (1-2) : 1; \\ 1,2 : 1,1 : 1, \end{array}$$

для сталей

$$f_{\text{ст}} : f_{\text{шл}} : \Sigma f_{\text{пит}} = 1,1 : 1,3 : 1,5,$$

а если применяют шамотный сифонный припас

$$f_{\text{ст}} : f_{\text{шл}} : \Sigma f_{\text{пит}} = 1 : 1 : (1-2),$$

для медных сплавов

$$f_{\text{ст}} : f_{\text{шл}} : \Sigma f_{\text{пит}} = 1 : 2 : (2-4),$$

для алюминиевых и магниевых сплавов

$$f_{\text{ст}} : f_{\text{шл}} : \Sigma f_{\text{пит}} = 1 : (2-4) : (2-6).$$

После расчета площадей сечений определяют размеры всех элементов литниковой системы. Для прямого круглого стояка определяют его диаметр. Наиболее часто используемые трапецевидные шлакоуловители (см. рис. 48) имеют следующие соотношения размеров;

$$b_{\text{шл.в}} = 0,8b_{\text{шл.н}}; \quad h_{\text{шл}} = 1,4 b_{\text{шл.н}}$$

где $b_{\text{шл.в}}$, $b_{\text{шл.н}}$ — соответственно верхнее и нижнее основания; $h_{\text{шл}}$ — высота шлакоуловителя.

Поперечные сечения питателей обычно имеют прямоугольную форму. Высота питателя $\delta_{\text{пит}}$ не должна превышать толщину отливки в месте подвода металла. Ширину питателя $b_{\text{пит}}$ определяют делением площади его поперечного сечения на высоту. Размеры литниковых чаш и воронок выбирают по справочным материалам.

3. ПРИБЫЛИ

Прибыль — это часть литниково-питающей системы, предназначенная для устранения в отливке усадочной раковины и пористости. В соответствии с принципом направленной кристаллизации при заливке тонкие части отливки выгоднее располагать внизу, а толстые — наверху. На последние сверху устанавливают прибыли. Когда это сделать невозможно, для отдельных термических узлов предусматривают боковые прибыли. Для обеспечения направленности затвердевания можно использовать наружные и внутренние холодильники. Отсутствие возможностей образования усадочных дефектов в отливках проверяют по чертежу методом вписанных окружностей, которые (рис.

51) должны свободно выкатываться из нижних сечений отливки в верхние и далее в прибыль.

В отливке, показанной на рис. 51, *а*, это условие не выполняется ($R_1 > R_2$), поэтому в термическом узле будет образовываться усадочная раковина 1. После нанесения технологического припуска (рис. 51, *б*), уклона 2 и галтели 3, которые удаляются при механической обработке, вписанные окружности свободно перекатываются ($R_1 < R_2$) снизу вверх отливки и далее в прибыль, что обеспечивает направленное затвердевание и, следовательно, отсутствие в отливке усадочных раковин.

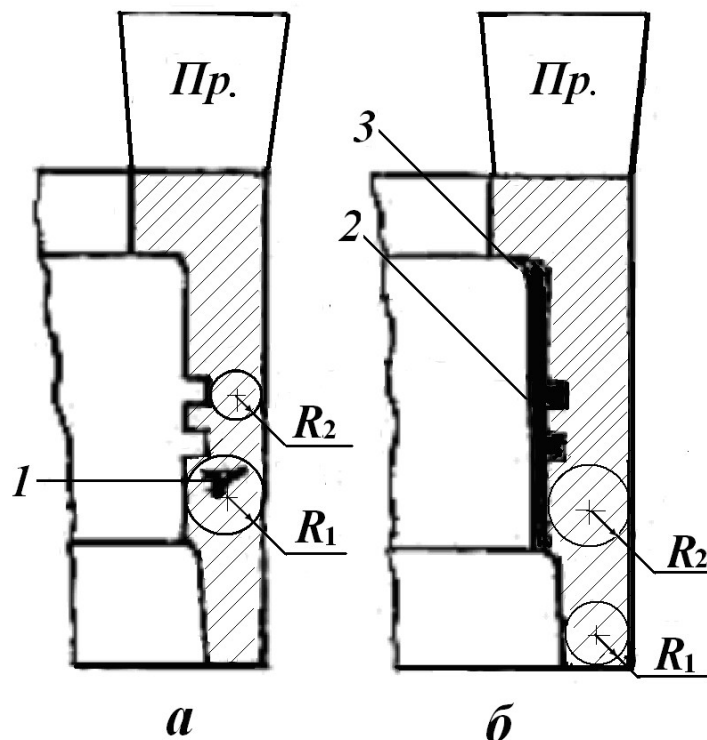


Рис. 51. Определение возможности образования усадочных дефектов методом вписанных окружностей

Эффективная работа прибыли обеспечивается при соблюдении следующих условий:

- прибыль должна затвердевать после отливки или питаемого термического узла;
- запас жидкого металла в прибыли должен быть достаточным для питания отливки во время ее затвердевания;
- форма прибыли и ее расположение должны обеспечивать свободный доступ жидкого металла к отливке или питаемому узлу;
- размеры и масса прибыли должны быть минимальными.

Прибыли различаются в зависимости от последовательности поступления в них металла. Проточные прибыли эффективнее сливных (см. рис. 47), так как они в большей мере разогреваются проходящим через них во время заливки металлом.

Открытые прибыли 1 (рис. 52, *а*) применяют при изготовлении крупных отливок 2. В них можно доливать металл или засыпать экзотермические смеси для его разогрева.

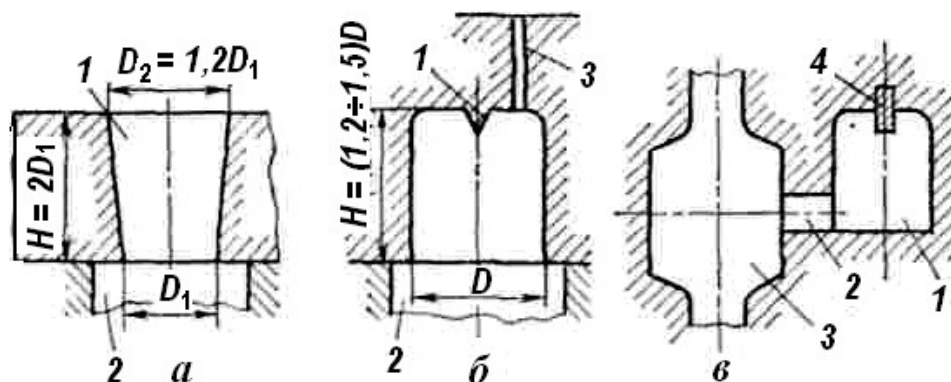


Рис. 52. Прибыли.

Закрытые цилиндрические прибыли (рис. 52, б) используют при изготовлении отливок 2 на основе методов машинной формовки. Выделяющиеся при заливке газы отводятся через тонкие выпоры 3. В верхней части прибыли предусматривают выступ 1 (рис. 52, б) с острым углом или тонкий пористый стержень 4 (рис. 52, в). Когда начинается кристаллизация металла, по стенкам прибыли на хорошо прогретом выступе или стержне корка не образуется, и через образовавшееся отверстие атмосферное давление воздействует на зеркало жидкого металла в прибыли, повышая эффективность питания отливки. При отсутствии выступа или стержня в усадочной раковине прибыли создается разрежение (давление газов ниже атмосферного) и она работает хуже, так как жидкий металл перетекает в питаемый узел только под действием собственного веса.

При изготовлении крупных ответственных отливок иногда применяют прибыли, работающие под сверхатмосферным давлением. Сжатый воздух под давлением в несколько атмосфер подводится через специальную трубку в прибыль, обеспечивая более эффективное питание отливки.

Отводные цилиндрические прибыли (рис. 52, в) используют для питания термических узлов, расположенных сбоку и снизу отливки. Соединительный канал-перешеек 2 затвердевает позже прибыли 1 и теплового узла 3, обеспечивая нормальное питание последнего. Отводные прибыли характеризуются малыми затратами на обрубные и очистные работы, так как прибыль легко отрезают от отливок по каналу-перешейку.

Облицовочный слой прибылей из теплоизолирующей смеси, в состав которой входят материалы с малой теплопроводностью и теплоемкостью (асбест, вспученный вермикулит, перлит, древесные опилки и др.), дает возможность уменьшить их объем. Еще более эффективны применяемые на практике экзотермические прибыли, облицованные специальными смесями алюминиевого порошка, оксидов железа, плавикового шпата, шамота и глины. За счет происходящей экзотермической реакции металл в прибыли длительное время не затвердевает, что обеспечивает хорошее питание отливки. Экзотермические прибыли позволяют значительно сократить расход металла и повысить выход годного литья.

Все перечисленные прибыли в зависимости от конфигурации отливки или теплового узла могут иметь различную формулу: шаровую, кольцевую, прямоугольную, овальную и др.

Объем и размеры прибылей рассчитывают на основании теоретических и экспериментальных зависимостей и производственных данных. По одному из известных методов, отличающемуся достаточной надежностью и относительной простотой, диаметр цилиндрической прибыли

$$D = K \sqrt[3]{\frac{X_{\varepsilon}}{1 - X_{\varepsilon}}} v_0,$$

где K — коэффициент, $K = f(H/D)$; H — высота прибыли; X — отношение объема прибыли к объему усадочной раковины; ε — коэффициент объемной усадки сплава (в жидком и твердожидком состояниях); v_0 — объем питаемой отливки.

Значения K и X приведены в табл. 11, значений ε берутся по справочным материалам.

Таблица 11

Коэффициенты K и X для различных прибылей

Прибыль	H/D	K	X
Работающая под давлением:			
ниже атмосферного (без стержня или выступа)	1	1,15	12
атмосферным со стержнем или выступом)	1,2	1,07	7,5—9
сверх атмосферным	1,3	1,04	5,5—7,5
Открытая	1,1	1,11	9—12
Теплоизолирующая	1,4	1,01	4—5,5
Экзотермическая	1,5	0,985	3—4

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 получают из отливок, называемых слитками, которые, 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

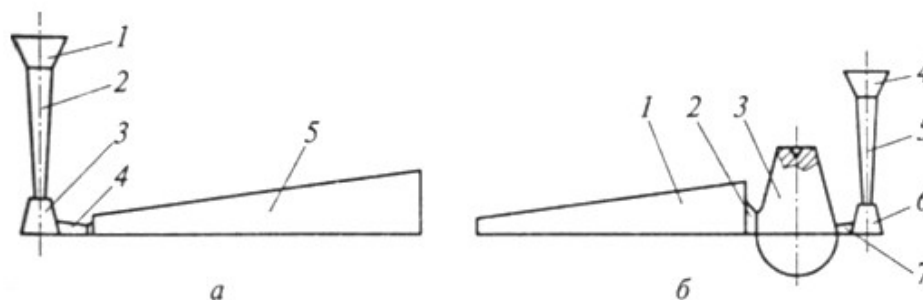


Рис. 14.1. Схемы обеспечения затвердевания отливок:

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 изготавливать 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 изготавливают уже с использованием питающих бобышек (такое название они получили из-за малых размеров, связанных с небольшой усадкой затвердевания). Точно так же без прибылей могут изготавливаться мелкие тонкостенные отливки из чугуна с шаровидным графитом при его модифицировании в форме. Большинство отливок из ВЧ можно изготавливать 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 затвердевания 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 упомянутой 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 ребренной 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 сплавов. В отдельных случаях применяют холодильники из материалов, обладающих повышенной теплоаккумулирующей способностью (графит, корунд, хромистый железняк и т.

п.), а при захлаживании фасонных поверхностей эффективным является применение захлаживающих смесей, содержащих до 60 % колотой чугуновой дробы.

При захлаживании протяженных направляющих станин и других чугуновых отливок холодильники делают со скосами (см. рис. 14.2. а) или не достигающими 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.

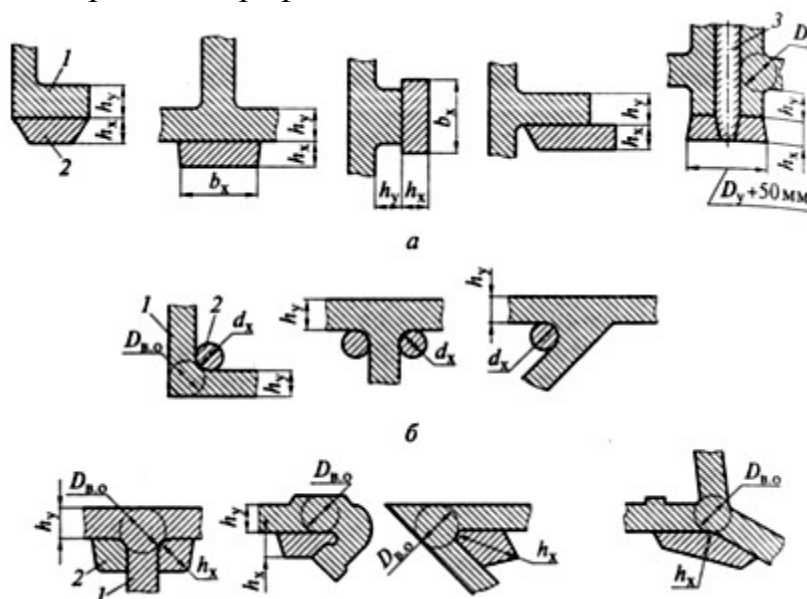


Рис. 14.2. Схема расположения холодильников:

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,

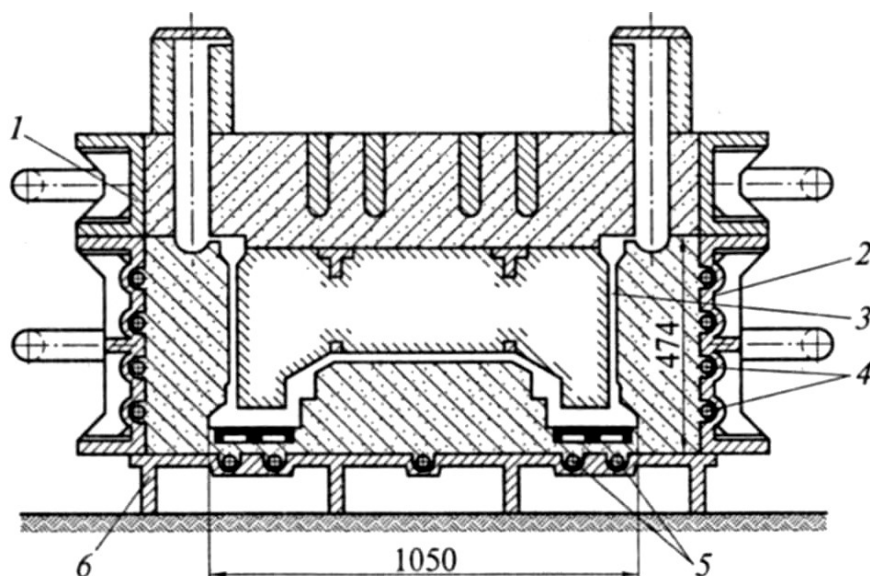


рис. 14.3. Конструкция оснастки для охлаждения отливок:

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 термодары, 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)).

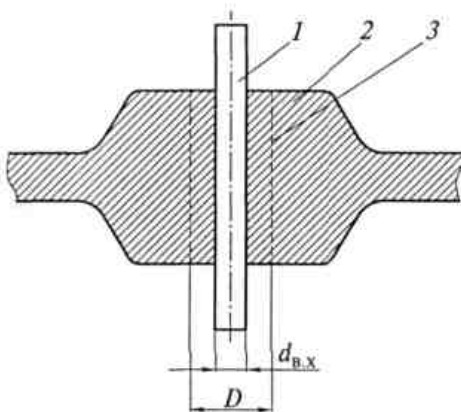


Рис. 14.4. Внутренний холодильник для высверливаемого отверстия: 1 — холодильник; 2 — отливка; 3 — высверливаемое отверстие; $d_{в.х}$ — диаметр внутреннего холодильника; D — диаметр высверливаемого отверстия

Диаметр внутреннего холодильника $d_{в.х}$ можно определить по диаметру D высверливаемого отверстия с помощью эмпирического уравнения, полученного на базе использования регрессионного анализа:

$$d_{в.х} = 0,263D^{1,157}, \quad \text{где } 12 < D < 90 \text{ мм.}$$

Внутренние холодильники второго типа должны расплавляться в жидком металле или свариваться с металлом отливки. Поэтому к ним предъявляются следующие требования: их химический состав должен соответствовать составу заливаемого сплава;

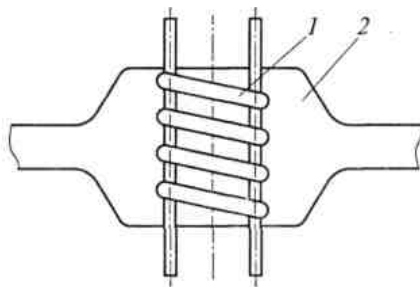


Рис. 14.5. Внутренний спиральный сваривающийся холодильник: 1 — холодильник; 2 — полость формы для массивной части отливки

Таблица 14.1

**Диаметр проволоки спирали, диаметры и число прутков-сердечников
внутренних спиральных холодильников**

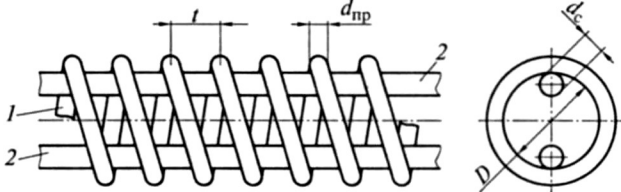
Характеристика составляющих холодильников	Значение характеристики при диаметре вписанной окружности $D_{во}$, мм				
	30	50	75	100	150
Диаметр проволоки спирали $d_{пр}$, мм	2	3	4	6	6
Допустимый диаметр прутков-сердечников d_c , устанавливаемых внутри спирали, мм	3...4	4...6	6...8	8... 10	10... 12
Допустимое число прутков-сердечников, устанавливаемых внутри спирали	1	1	1...2	2...3	2...3

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

					Масса 1 пог. м g, кг	
Основные размеры, мм			Прутки - сердечники 2		Спираль без прутков-сердечников	Спираль с прутками-сердечниками
$d_{пр}$	D	t	d_c	Количество о 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 $D_{во}$ по табл. 14.1 выбирают диаметр $d_{пр}$ проволоки спирали, допустимый диаметр d_c прутков-сердечников,

устанавливаемых внутри спирали, и их допустимое число. Далее по уже найденному значению $d_{\text{пр}}$ с помощью табл. 14.2 определяют диаметр D спирали и ее шаг t . Длина l спирали может быть определена из уравнения [8]

$$l = (0,04 \dots 0,02) m_y / q,$$

где m_y — масса теплового узла, кг; — 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 изготавливаемой 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 увеличением давления радиус действия прибыли расширяется, т.е. металл продвигается по междендритным каналам.

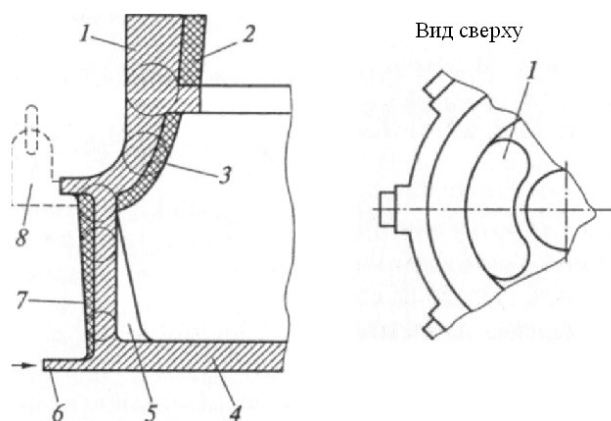


Рис. 14.6. Технологический напуск (прибыль над горячим местом): 1 — открытая прибыль; 2, 3, 5 — технологические напуски; 4 — отливка; 6 — питатель; 7 — ребро; 8 — закрытая боковая прибыль атмосферного давления; стрелкой показано направление подвода металла

Для высоких отливок (плиты, цилиндры, отливаемые вертикально) также требуется технологический напуск на некотором расстоянии h_n от прибыли (рис. 14.7), так как без напуска нижняя часть отливок будет плотной из-за действия торца.

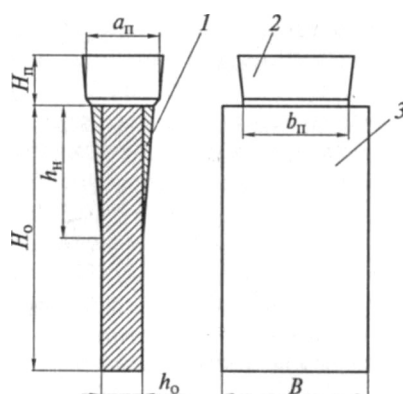


Рис. 14.7. Технологический напуск на высоких отливках, заливаемых вертикально: 1 — технологический напуск; 2 — прибыль; 3 — отливка; a_n b_n — размеры прибыли в сечении; H_n — высота прибыли; B — ширина отливки; h_o — толщина отливки; H_o — высота отливки; h_n — высота напуска

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.

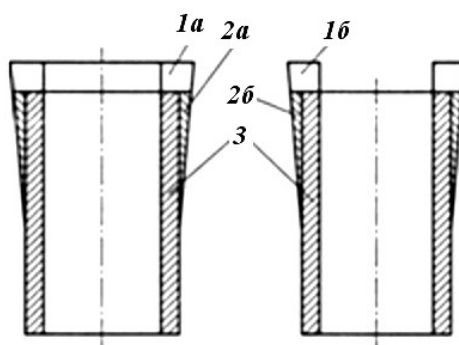


Рис. 14.8. Сплошная (1а) и локальная (1б) прибыли со сплошным (2а) и локальным (2б) технологическим напуском на отливке 3

Другим примером установки прибылей и выполнения технологического напуска может быть отливка крышки (рис. 14.9). Для обеспечения герметичности крышки необходимо поставить четыре прибыли по диаметру фланца и предусмотреть сплошной или локальный технологический напуск.

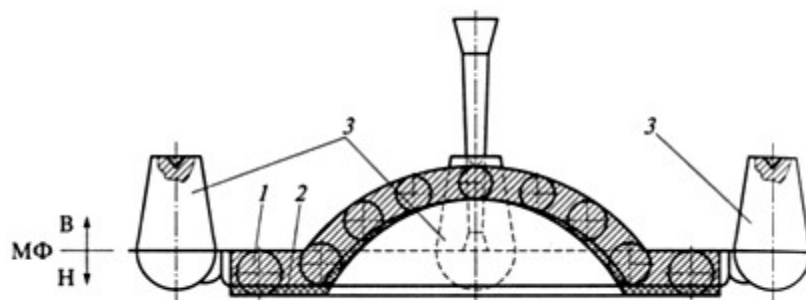
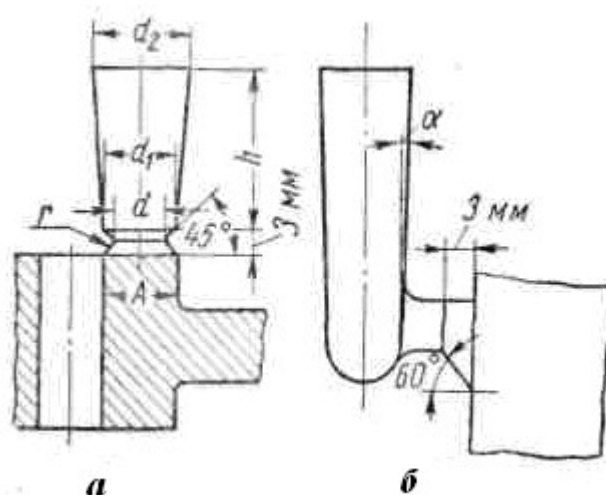


Рис. 14.9. Технологический напуск на отливке крышки: 1 — отливка; 2 — технологический напуск; 3 — прибыли; В, Н — соответственно верх и низ формы; МФ — разъем модели и формы

Питающие элементы на чугунных отливках

При получении чугунных отливок в качестве элементов питания используются выпоры, питающие бобышки и прибыли. Местоположения усадочных пустот можно определяются методом вписываемых окружностей.

Питающие выпоры (фиг. 213) применяются для обеспечения добавочным питанием отдельных мест разностенных отливок.



Фиг. 213. КОНСТРУКЦИЯ питающих выпоров: *a* — прямой; *б* — отводной; $\alpha = 10 \div 30^\circ$

Учитывая небольшой запас металла в выпоре и его быстрое остывание, установка выпоров на массивные части отливок не рекомендуется, так как это приведет к образованию усадочной раковины непосредственно под выпором. В этом случае целесообразнее применять отводные выпоры (фиг. 213, *б*). Чтобы предупредить обгар верха формы и создать положительное давление в ее полости, выпоры необходимо закрывать глиняными пробками. В табл. 175 приводятся размеры прямых питающих выпоров (фиг. 213, *a*).

Таблица 175

Питающие выпоры

Толщина тела отливки в месте сопряжения с питающим выпором <i>A</i> в мм	Размеры питающего выпора в мм				
	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	<i>h</i> не менее	<i>r</i>
20—25	20	25	30	60	2
50—55	50	60	80	130	3
75—80	75	90	120	200	4
110—105	100	120	170	250	5
125—130	125	150	100	300	5
150—155	150	180	240	400	5
175—180	175	210	280	450	6
200—205	200	235	320	500	6
225—230	225	270	360	550	6

Питающие бобышки применяются при получении отливок из ковкого чугуна, а также отливок с массивными узлами из серого малоуглеродистого модифицированного чугуна. При использовании питающих бобышек необходимо учитывать следующее:

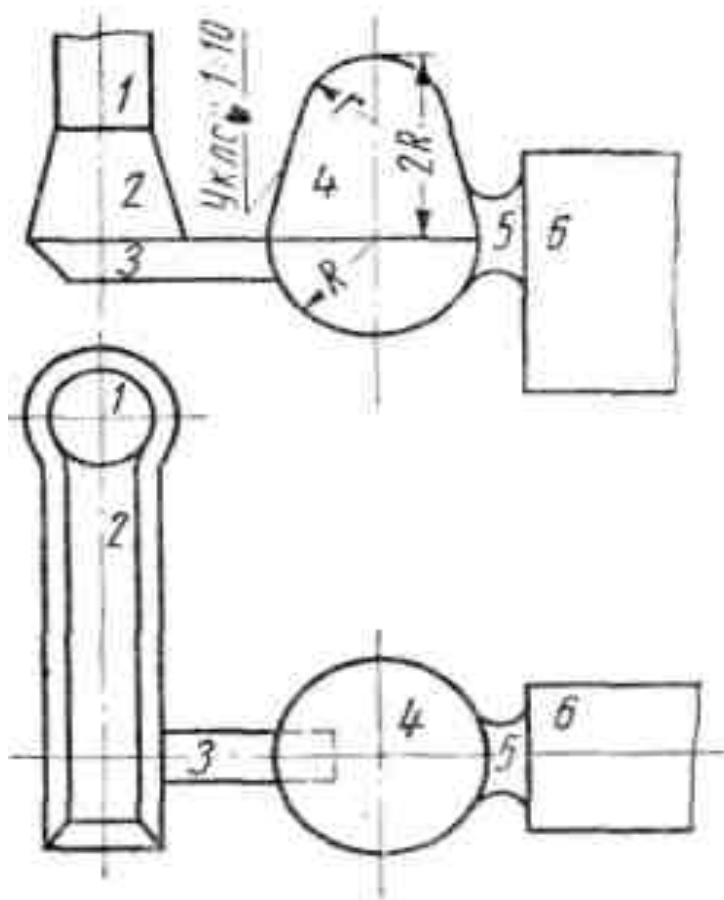
а) питающие бобышки должны подводиться в наиболее массивные узлы отливок, и присоединяться к ним через короткие шейки;

б) питатели, подводящие металл к бобышке, должны иметь, наименьшее допустимое для заливки формы сечение и наибольшую длину, чтобы

обеспечить скорейшее прекращение питания бобышки после окончания заливки. При этом сумма сечения питателей не должна превосходить половину сечения шейки или канала, соединяющего бобышку с отливкой, а подвод питателей к бобышке должен быть вблизи канала;

в) при питании от одной бобышки нескольких деталей ее сечение следует увеличивать на 25—40%.

Размеры питающих бобышек для отливок из ковкого чугуна (фиг. 214) по данным завода «Ростсельмаш» [59] приводятся ниже в (табл. 176).

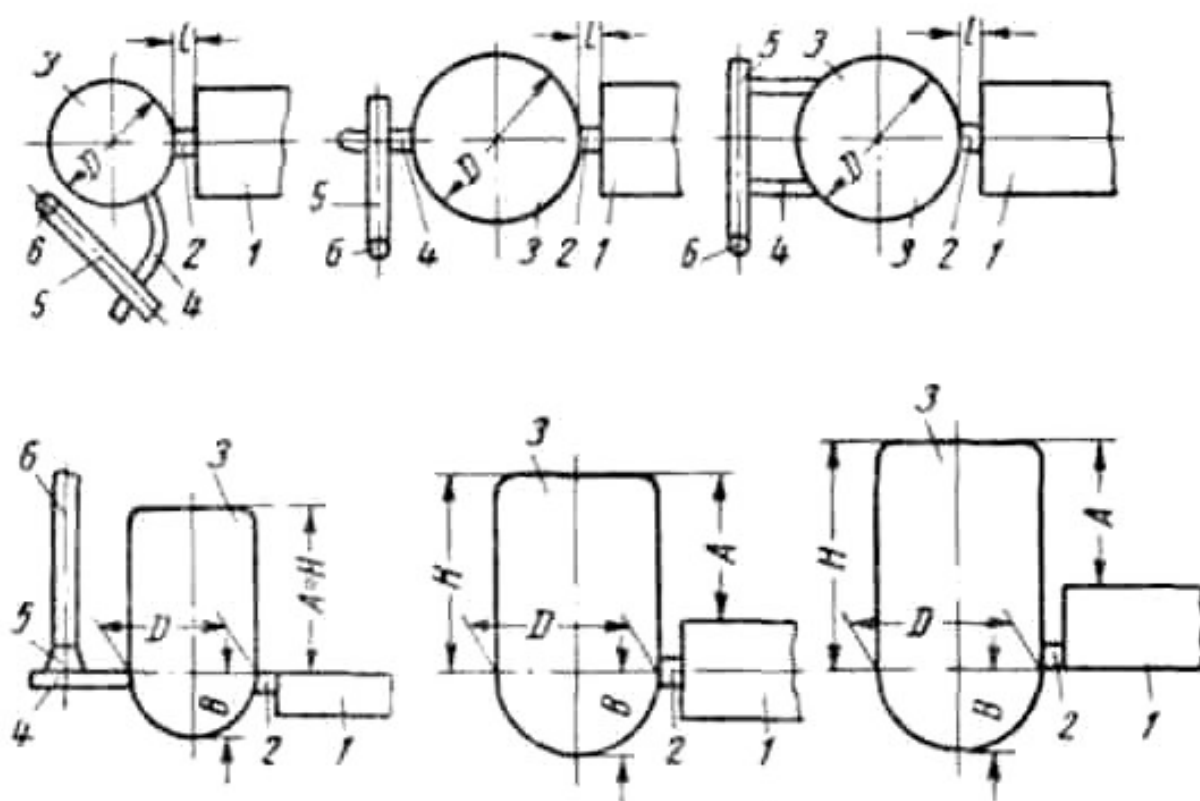


Фиг. 214. Питающие бобышки из ковкого чугуна: 1 — стояк; 2 — шлакоуловитель 3 — питатель; 4 — бобышка; 5 — шейка; 6 — отливка

Питающие бобышки из ковкого чугуна

Вес отливки в кг	Вес бобышки в кг	Радиус (R) основания бобышек в мм	Площадь сечения шейки в см ²
0,5	0,18	15	1,5
1,0	0,30	18	2,4
1,5	0,45	20	3,3
2,0	0,60	22	4,2
2,5	0,75	24	4,8
3,0	0,90	25	5,6
3,5	1,05	26	6,0
4,0	1,20	27	6,4
5,0	1,50	30	7,2

Величину питающих бобышек для отливок из серого чугуна (фиг. 215) можно принимать по практическим данным завода «Станколит» (табл. 177).



Фиг. 215. Питающие бобышки для отливок из серого чугуна: 1 — отливка; 2 — литниковый канал; 3 — бобышка; 4 — питатель; 5 — шлакоуловитель; 6 — стояк.

Питающие бобышки для отливок из серого чугуна

Вес отливок в кг	Площадь сечения бобышки		Глубина B на нижней части бобышки	Отношение высоты верхней части бобышки H к ее диаметру H/D	Литниковый канал	
	Отношение площади сечения бобышки к площади сечения питаемого участка отливки	Рекомендуемый диаметр D_b бобышки в мм			Длина в мм не более	Площадь сечения в см^2
До 15	1,0—1,2	50 60 70	50 60 70	1,5—2,0	15—20	3,0
16—60	0,9—1,1	60 80 100	60 70 80	1,3—1,8	15—20	5,0
61—300	0,7—0,9	80 100 120	70 80 90	1,1—1,6	20—25	12,0
301—1500	0,6—0,8	100 130 160	80 95 110	1,0—1,4	25—30	20,0
Св. 1500	0,5—0,7	150 200 250	110 130 150	0,9—1,2	30—35	30,0

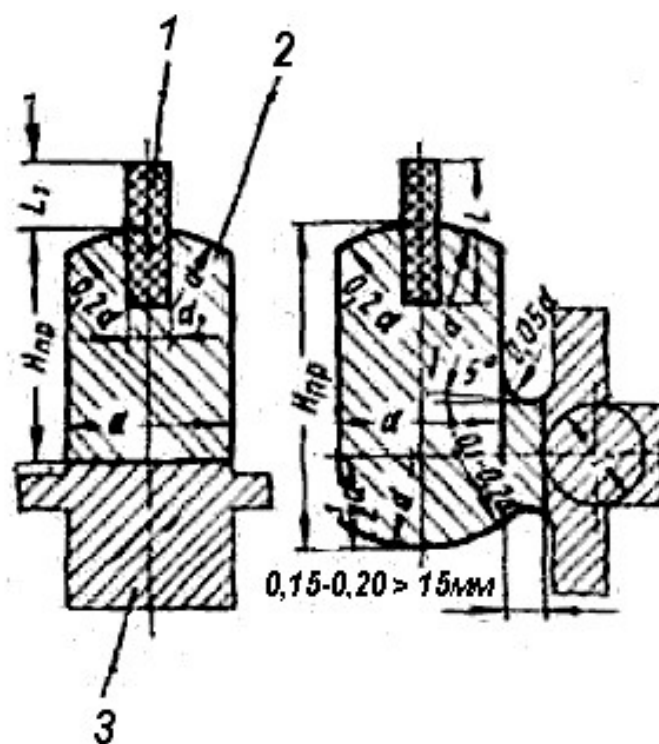
При получении отливок из серого чугуна весом свыше 250 кг для повышения выхода годного в питающие бобышки рекомендуется устанавливать цилиндрические песчаные стержни (табл. 178), (фиг. 216).

Таблица 178

Размеры соединительных стерженьков в питающих бобышках с атмосферным давлением (в мм)

Диаметр питающей бобышки	Диаметр песчаного стерженька	Длина песчаного стерженька (фиг. 216, а)	
		Общая (l)	В том числе знаковой части L_1 ,
70—120	15	90	45
121—200	20	120	50
201—300	25	150	60

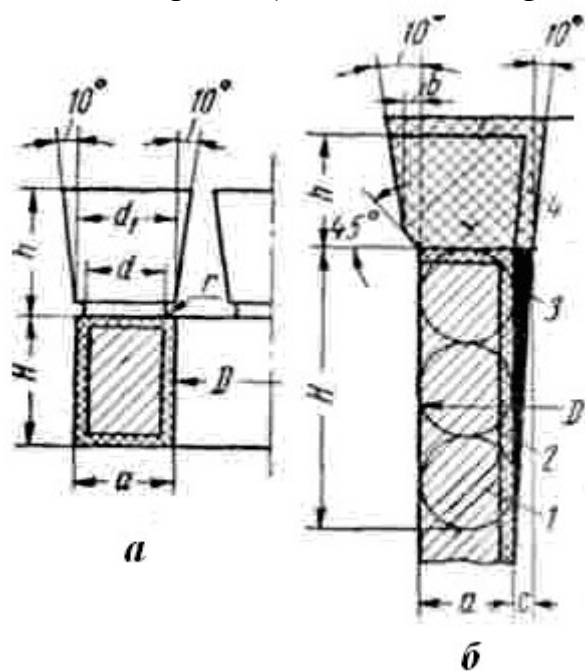
Благодаря высокой газопроницаемости стержня, после заливки формы в центре бобышки создается избыточное давление, которое способствует интенсивной передаче металла из бобышки в отливку.



Фиг. 216. Схемы прибылей с атмосферным: 1 — песчаный соединительный стержень; 2 — прибыль; 3 — отливка.

При производстве отливок из белых, высокопрочных и высоколегированных чугунов, склонных к образованию усадочных раковин, а также при получении толстостенных отливок из обычного чугуна в качестве элементов питания используются прибыли.

Верхние прибыли можно рассчитывать по соотношениям, приведенным на фиг. 217. Для легкого отделения верхних прибылей от отливок используются разделительные пластинки и стержни (табл. 178, 179, фиг. 218 и 219).



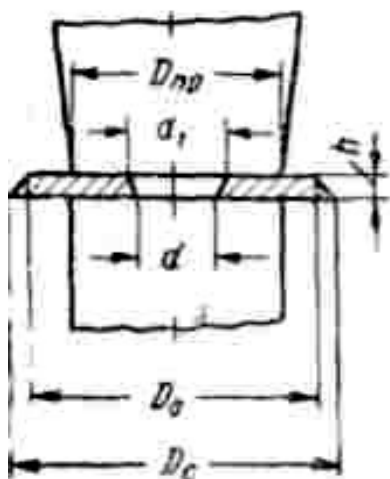
Фиг. 217. Определение размеров верхних прибылей (по данным С. В.

Россиян): a — питание местными прибылями; b — питание кольцевыми прибылями; l — вписанная окружность в питаемый узел; 2 — припуск на обработку; 3 — литейный уклон; 4 — прибыль.

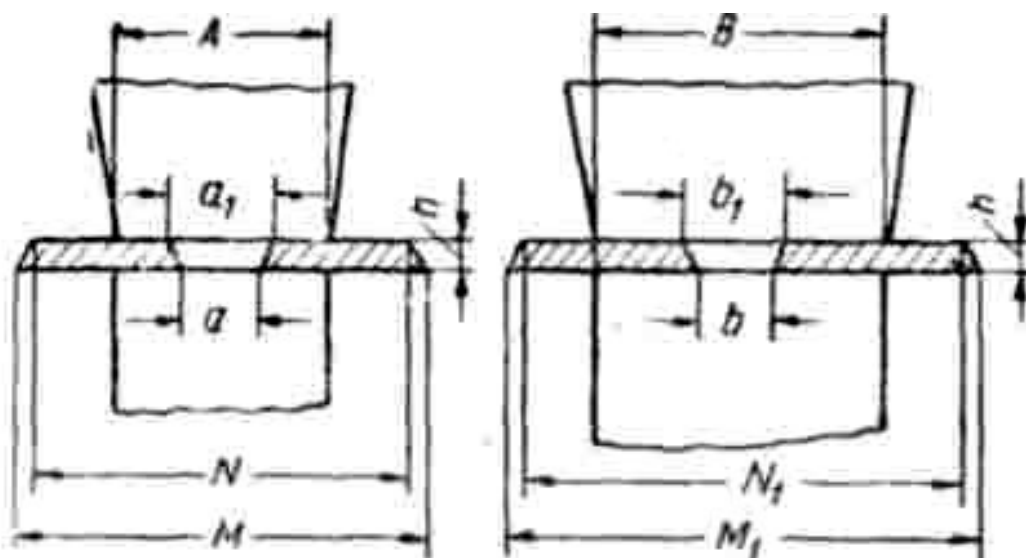
Расчетные данные $d = 0,9 a$; $d_1 = 1,1 a$; $h = 1,5a$; $r = 0,015d$.

При $H < 5 b = 0,05H$; $h = 1,1(a+b)$.

При $H > 5a$: $b = 0,05H$; $C = 0,05H$; $h = (a + b + c)$.



Фиг. 218. Разделительные пластинки и стержни для легкоотделимых прибылей круглого сечения (к табл. 178).



Фиг. 219. Разделительные пластинки и стержни для легкоотделимых прибылей прямоугольного сечения (к табл. 179).

Таблица 178

**Разделительные пластинки и стержни для легкоотделяемых прибылей
крупного сечения**

Диаметр прибыли $D_{пр}$ в мм	Материалы пластинок	Размеры пластинок и стержней в мм				
		h	d	d_1	D_o	D_c
100	Листовое железо, покрытое противопригарной краской	1,0	25	25	130	130
130		1,0	30	30	160	160
160		1,0	35	35	190	190
200	Шамотный стержень ¹	12	40	45	230	235
250		14	50	58	280	288
300		16	60	68	330	338

¹ Состав смеси в объемн. % шамотный порошок 25—45; глина огнеупорная 35—45; графит 20—35.

Таблица 179

**Разделительные пластины и стержни для легкоотделимых прибылей
прямоугольного сечения**

Сечение прибылей в мм		Материал пластинок	Размеры пластинок и стержней в мм								
Ширина A	Длина на B		h	a	b	d_1	b_1	N	M	N_1	M_1
100	100	Листовое железо, покрытое краской	1,0	25	25	25	25	130	130	130	130
100	130		1,0	25	55	25	55	130	130	160	160
100	160		1,0	25	85	25	85	130	130	190	190
130	130		1,5	30	30	30	30	160	160	160	160
200	160		1,5	30	60	30	60	160	160	190	190
130	200	Шамотный стержень	12,0	30	100	34	105	180	164	230	234
130	160		12,0	40	40	44	44	210	214	210	214
160	200		12,0	40	80	44	84	210	214	250	252
160	250		14,0	40	130	45	135	210	215	300	305
160	200		14,0	50	50	55	55	260	265	260	265
200	250		14,0	50	100	55	105	260	265	300	305
250	250		16,0	60	60	66	66	340	326	320	326
250	250		16,0	60	110	66	116	320	326	370	376
300	300		16,0	75	75	81	81	380	386	380	386

Для подсчета прибылей для отливок из цветных сплавов можно пользоваться при построении соотношениями для чугуна (фиг. 217) при следующих условиях:

$d_{пр} : d_{от} = (1,05—1,15) : 1,0$ для компактных узлов;

$d_{пр} : d_{от} = (1,15—1,5) : 1,0$ для узлов с развитыми поверхностями;

$d_{пр} : d_{от} = 1,5 : 1,0$ для узлов с весьма развитыми поверхностями

При закрытых прибылях необходимо пользоваться конфигурациями и размерами для стали

ЗАЛИВКА ФОРМ. ОХЛАЖДЕНИЕ, ВЫБИВКА И ОЧИСТКА ОТЛИВОК

1. ЗАЛИВКА ФОРМ

Расплав заливают в предварительно собранные формы. Их обычно устанавливают таким образом, чтобы поверхность разъема была расположена горизонтально, реже вертикально или наклонно. На плацу, в кессонах, на накопительных рольгангах жидкий металл заливают в неподвижные формы. На пульсирующем конвейере формы заливают в промежутке между их шаговыми перемещениями. На непрерывно движущемся конвейере заливку форм осуществляют в процессе их движения со специальной платформы, которая перемещается параллельно и синхронно конвейеру. В формы расплав заливают из литейных ковшей или с помощью заливочно-дозировующих устройств.

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

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

По способу регулирования расхода металла при разливке, различают поворотные и стопорные ковши. Из поворотных ковшей (рис. 53, а) расплав разливают в формы через сливной носок 1, расход металла регулируют поворотом ковша вокруг горизонтальной оси

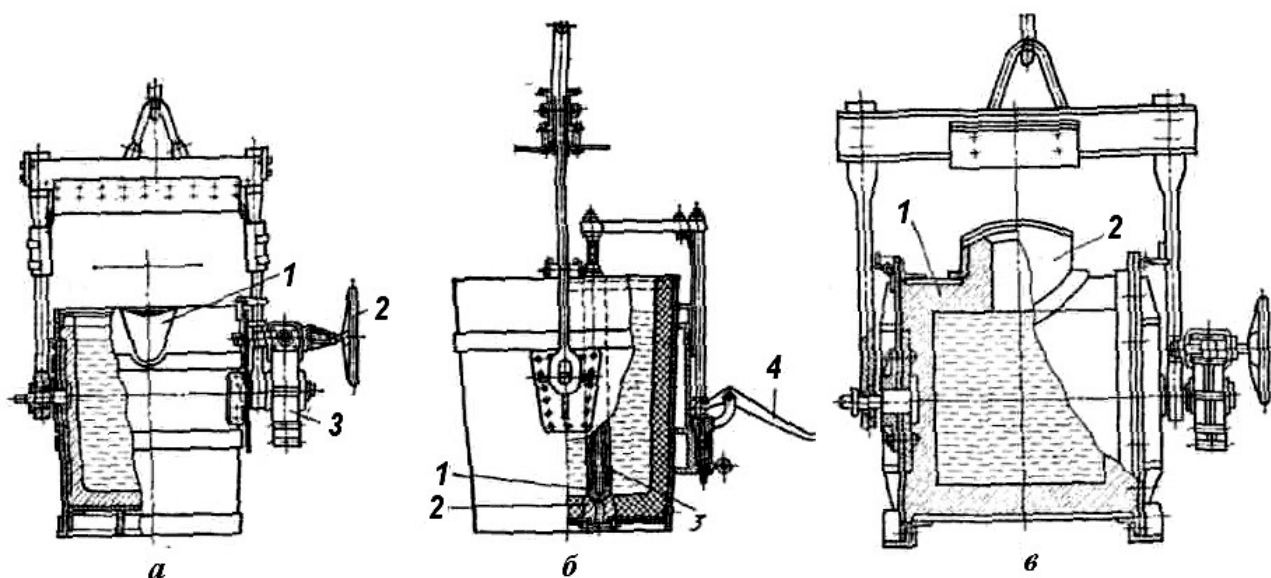


Рис. 53. Литейные ковши

Наклоняют их с помощью ручных рычажных систем или самотормозящихся червячных механизмов 3, приводимых в действие от ручного штурвала 2 или электродвигателя. При разливке из поворотных ковшей возможен слив вместе с металлом шлака и попадание его в полость формы. Для избежание этого в ковшах устанавливают перегородки или керамические трубки, обеспечивающие поступление чистого металла из нижних уровней. Такие ковши называют чайниковыми.

Из стопорных ковшей (рис. 53, б) расплав разливают через отверстие огнеупорного стакана 2, размещенного в днище ковша. Отверстие открывают и перекрывают с помощью стопора — стального штока с пробкой 1 на конце, футерованного керамическими трубками 3 и жестко связанного с механизмом его подъема и опускания 4. Ковши вместимостью 1—6 т оборудованы одним стопором, более вместительные — двумя стопорами. При разливке из стопорных ковшей в полость формы всегда поступает расплав, свободный от шлака. Расход металла определяется металлостатическим напором в ковше и площадью поперечного сечения стопорного стакана. Поэтому вначале разливки расход металла всегда больше, чем в конце, что является существенным недостатком стопорных ковшей. Частично расход металла можно регулировать торможением струи стопором. Однако в этом случае быстро размывается пробка стопора, поэтому этот метод регулирования расхода металла применяется ограниченно. Стопорные ковши чаще используют при получении стальных отливок, реже — крупных чугунных.

По геометрии рабочей полости литейные ковши подразделяют на конические и барабанные. Конические ковши имеют форму усеченного конуса, уширенного кверху, и могут быть поворотными (рис. 53, а) и стопорными (рис. 53, б). Барабанный ковш является поворотным и представляет собой горизонтальный цилиндр 1, диаметр рабочей полости которого равен длине (рис. 53, в). Он имеет небольшую горловину 2 для заполнения расплавом и разливки. Поэтому в нем расплав остывает медленнее. Относительно малая высота ковшей обеспечивает удобство заливки форм. Но их труднее футеровать. Наиболее широко барабанные ковши применяют для разливки чугуна, значительно реже — для разливки стали и бронзы.

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

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

При производстве мелкого литья на конвейере расплав из печи предварительно выпускают в раздаточный ковш большой вместимости,

который устанавливают на специальном стенде заливочного участка. Из раздаточного ковша жидкий металл переливают в разливочный ковш малой вместимости.

Основным фактором, определяющим размеры ковшей, является металлоемкость форм. Так, для заливки чугуна рекомендуют применять ковши вместимостью, в 2—10 раз превышающей металлоемкость формы. При производстве мелкого стального литья применяют конические ковши с перегородками (чайниковые) вместимостью до 800 кг. Вместимость стопорных сталеразливочных ковшей наряду с металлоемкостью форм регламентируется допустимой кратностью открытия и закрытия отверстия стопорного стакана. Она обычно составляет 30—50 и лишь в отдельных случаях 70—120. При заливке из двустопорных ковшей десяти и более форм второе стопорное устройство используют как резервное. Меньшее число форм можно заливать одновременно через оба отверстия стопорного стакана. В сталелитейных цехах при заливке форм металлоемкостью более 90 т рекомендуют одновременно использовать несколько ковшей меньшей вместимости.

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

После футеровки ковши сушат, а перед наполнением расплавом разогревают до 700—1000 °С для полного удаления свободной и связанной влаги, а также Снижения потерь теплоты заливаемого сплава. Недостаточно просушенная футеровка может быть причиной насыщения металла водородом. Ручные и монорельсовые ковши сушат при 300—350 °С в течение 3—8 ч. Крановые ковши большой вместимости сушат в две стадии: сначала в течение 8—10 ч просушивают арматурный слой футеровки, прогревая его до 700—900 °С; после остывания арматурного слоя выкладывают рабочий слой и сушат его в течение 10—15 ч, постепенно прогревая до 900 °С.

Автоматические заливочно-дозирующие устройства одновременно выполняют операции дозирования и заливки. По принципу действия их подразделяют на электромеханические, пневматические, электромагнитные и комбинированные. В электромеханических устройствах для дозирования и выдачи металла используют наклоняющиеся ковши секторного (рис. 54, а), барабанного или чайникового типа, а также ковши со стопорной (рис. 54, б) и шиберной выдачей металла. Дозирование порции металла осуществляют по времени его выдачи или по массе, а в наклоняющихся ковшах и по объему.

В пневматических подающих устройствах дозу расплава вытесняют из емкости сжатым воздухом или инертным газом (рис. 54, *в*). Расход металла регулируют изменением давления газа, а требуемую порцию дозируют по времени или по массе. В комбинированном пневмостопорном устройстве (рис. 54, *г*) используется принцип вытеснения расплава газом и стопорной выдачи металла.

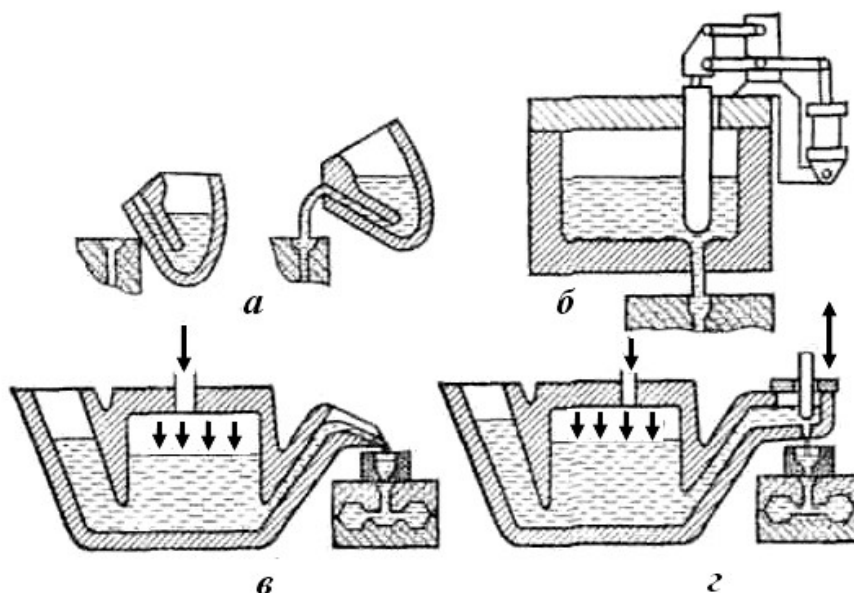


Рис. 54. Заливочно-дозировочные устройства

В электромагнитных подающих устройствах слив металла осуществляют с помощью бегущего электромагнитного поля или магнитодинамического насоса МДН (рис. 55).

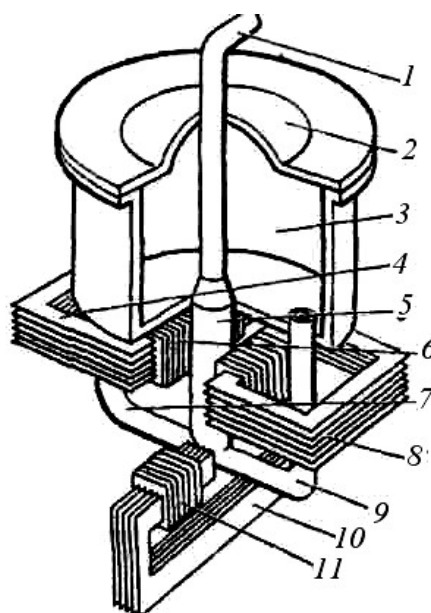


Рис 55. Установка с магнитодинамическим насосом

Установка с МДН состоит из тигля 3 с крышкой 2. Тигель сообщен со сливным каналом через два боковых вертикальных и горизонтальный канала. Боковые каналы 7 и 9 охвачены индукторами 4 и 8 с обмотками 6. Участок соединения трех каналов расположен в межполюсном зазоре электромагнита 10 с обмотками 11. При включении обмоток индукторов в сеть по металлу идет ток, который, взаимодействуя с внешним магнитным полем, создает электромагнитные силы, оказывающие силовое воздействие на расплав. При включении индукторов в режим насоса, а электромагнита — в режим нагнетания электромагнитные силы выталкивают расплав по каналу 5 в металлопровод 1, и он выливается в форму. Раздельное управление электромагнитными системами позволяет регулировать как скорость заливки, так и температуру металла. Дозирование осуществляют по времени разливки, объему или массе. Преимуществом МДН является малая инерционность, отсутствие необходимости герметизации ванны с металлом, возможность снижения насыщенности металла газами и содержания в нем оксидных включений, дополнительного нагрева металла и полной автоматизации процесса заливки.

В формы металл заливают короткой струей, не допуская ее разрыва и разбрызгивания. Начальную порцию расплава из ковша или заливочного устройства в форму сливают слабой струей, затем мощность струи увеличивают с целью быстрого заполнения литниковой чаши или воронки. В дальнейшем расход металла выбирают таким, чтобы он был достаточным для поддержания уровня металла в чаше. При этом режим заполнения полости формы расплавом регулируется статическим напором заливаемого металла и соответствующими размерами элементов литниковой системы. Заливку прекращают при появлении расплава в выпоре или после заполнения прибыли.

При автоматической разливке металла на литейных конвейерах продолжительность цикла дозирования и заливки задана производительностью формовочных автоматов. Если она меньше оптимальной продолжительности заполнения одной формы, то дозированную порцию металла сливают в металлоприемные емкости. На автоматических литейных линиях с непрерывным движением конвейера роль такой емкости выполняют металлоприемные желоба, а на пульсирующих конвейерах — накопительные чаши. Режим заполнения форм из них определяется уровнем расплава в приемной емкости и литниковой системой. Применение промежуточных металлоприемников позволяет обеспечить требуемый режим заполнения формы при высокой производительности литейных автоматических линий. Однако металлоприемники имеют большую поверхность охлаждения расплава, поэтому для компенсации потерь теплоты в них необходимо повышать температуру жидкого металла.

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

начальной температуры, движущей силы, определяющей перемещение сплава в полости литейной формы, и других факторов. Для обеспечения удовлетворительного заполнения форм при изготовлении отливок из углеродистых и низколегированных сталей обычно достаточно перегреть расплав на 30—60 °С. При изготовлении тонкостенных стальных отливок перегрев увеличивают до 100 °С. Еще больший перегрев назначают при разливке высоколегированных сталей, склонных к пленообразованию. Абсолютные значения температур заливки сталей обычно колеблются от 1520 до 1620°С.

Чугуны возможно и целесообразно заливать в формы при перегревах, составляющих сотни градусов. В зависимости от толщины стенки отливки серый чугун разливают при 1300—1450 °С. Температура разлива ковкого и высокопрочного чугунов при тех же толщинах отливки выше соответственно на 30—60 и 50—70 °С.

Бронзы, алюминиевые и магниевые сплавы из-за пленообразования перегревают на 100—200 °С. Температура разлива латуней и бронз составляет 1000—1200 °С, алюминиевых и магниевых сплавов соответственно 680—770 и 700—800 °С.

2. ОХЛАЖДЕНИЕ ОТЛИВОК И ВЫБИВКА ИХ ИЗ ФОРМ

Охлаждение отливок в форме. После затвердевания отливку выдерживают в форме для охлаждения до температуры выбивки.

Чем выше температура выбивки, тем короче технологический цикл изготовления отливки и больше производительность формовочно-заливочного участка. Однако высокая температура выбивки нежелательна из-за опасности разрушения отливки, образования дефектов или ухудшения ее качества. Вблизи температуры кристаллизации сплавы имеют низкие прочностные и пластические свойства, поэтому опасность разрушения отливок особенно велика. Кроме того, на воздухе отливки остывают быстрее, чем в форме. При этом неравномерность охлаждения массивных и тонких сечений усиливается, и уровень внутренних напряжений в отливке возрастает. Ранняя выбивка может привести к образованию трещин, короблению и сохранению в отливке высоких остаточных напряжений.

Длительная выдержка в форме с целью охлаждения до низкой температуры нецелесообразна с экономической точки зрения, так как удлиняет технологический цикл изготовления отливки. Поэтому выбивку стремятся производить при максимально высокой допустимой температуре. Она зависит от природы сплава, а также от конструкции (сложности) отливки. Стальные отливки рекомендуют охлаждать в форме до 500—700 °С, чугунные до 400—500 °С. Сложные отливки, склонные к образованию трещин, охлаждают в форме до 200—300 °С, а отливки, не склонные к образованию трещин, до 800—900 °С. Температура выбивки отливок из бронз составляет 300—500 °С, из алюминиевых и магниевых сплавов соответственно 200—300 и 100—150 °С.

Продолжительность выдержки в форме определяется толщиной стенки отливки, свойствами залитого сплава и литейной формы, температурой

выбивки. Она может быть рассчитана или определена экспериментально. В зависимости от природы сплава и конструкции отливки время выдержки в песчаной форме составляет от нескольких минут до суток и даже недель.

Для сокращения продолжительности охлаждения отливок иногда используют методы принудительного охлаждения. Например, формы, залитые на конвейере, охлаждают обдувкой их воздухом в охлаждающих галереях. Остывание крупных отливок интенсифицируют установкой в форму змеевиков или труб, по которым пропускают воздух или воду. В некоторых случаях воздух (газ) пропускают через зазор между отливкой и формой.

Средняя скорость охлаждения отливок в формах колеблется от 2 до $150^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Скорость охлаждения выбирают с учетом толщины стенок отливки и прочностных свойств сплава. При большой разнице скоростей охлаждения отдельных частей отливок возникают большие термические напряжения, которые могут привести к короблению отливок или появлению в них трещин. При принудительном охлаждении отливок возможно не только сокращение продолжительности выдержки их в форме, но также выравнивание скоростей охлаждения тонких и массивных узлов и снижение термических напряжений.

Во многих случаях применяют высокотемпературную выбивку с последующим более медленным, чем на воздухе, охлаждением отливок, например, в колодцах, коробах, вместе с комом смеси и т. д.

Выбивка форм. Обычно эту операцию выполняют на механических выбивных решетках (рис. 56), которые по принципу действия классифицируют на эксцентриковые (рис. 56, а), инерционные (рис. 56, б) и инерционно-ударные (рис. 56, в).

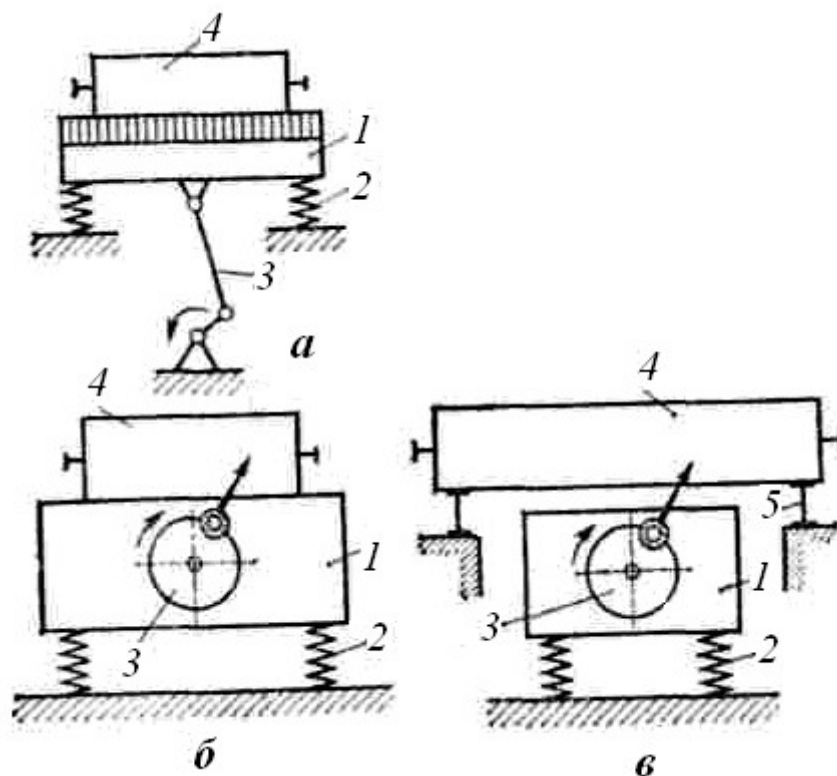


Рис. 56, Выбивные решетки

Решетка 1 с литейной формой 4 с помощью привода 3 и опорной пружины 2 совершает колебательное движение. В каждом цикле колебаний решетки форма подбрасывается вверх и затем, падая, ударяется о решетку или опорную раму 5. В момент соударения под действием сил инерции форма разрушается. Выбитая из опоки формовочная смесь проваливается через решетку и системой конвейеров передается к месту ее переработки для повторного использования.

На поточных и автоматических линиях отливки выдавливают из опоки с комом смеси, а затем освобождают от смеси на выбивных решетках. Ответственные отливки извлекают из формы перед ее выбивкой. Выбивка форм сопровождается выделением большого количества теплоты и пыли, поэтому участки выбивки форм оснащают мощными системами вытяжной вентиляции, а выбивные решетки большой грузоподъемности (выше 10 т) имеют пыле- и звукоизолирующие накатные кожухи.

Выбивка стержней из отливок. Остатки стержней после выбивки из форм удаляют из отливок пневматическими зубилами, на вибрационных машинах, в гидравлических камерах и электрогидравлических установках.

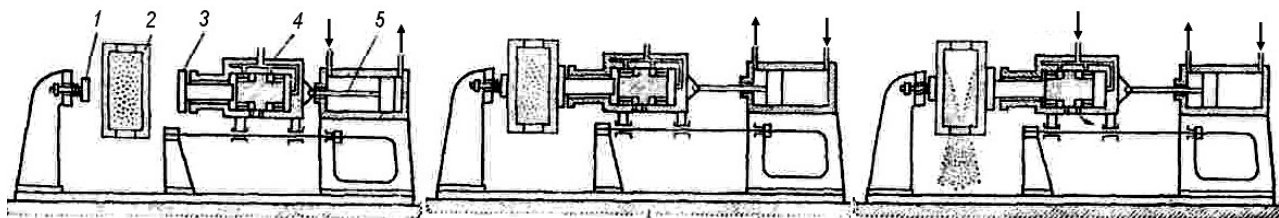


Рис. 57. Схема работы пневматической вибрационной машины для выбивки стержней

Стационарные пневматические вибрационные машины (рис. 57) используют для выбивки стержней из отливок небольших размеров и массы. Отливка 2 со стержнем с помощью толкателя 5 зажимается между пружинным упором 1 и бойком вибратора 3. Затем включают вибратор 4. Под действием вибрации стержень разрушается и выбивается из отливки. Процесс сопровождается сильным выделением пыли и шумом. Поэтому пневмо-вибрационные установки выпускают в закрытом (пыле- и звукоизолирующем) исполнении.

В гидравлических камерах и электрогидравлических установках выбивают стержни из крупных стальных и чугунных отливок. В гидрокамерах отливку устанавливают на поворотный стол и на нее направляют струю воды (диаметром 5—20 мм) под давлением 5—10 МПа. Одновременно с удалением стержня происходит очистка поверхности отливки. В электрогидравлических установках стержни разрушаются ударной волной, возникающей при высоковольтном электрическом разряде между двумя электродами в воде. При прямом методе одним из электродов является отливка. После выбивки стержней из отливок удаляют каркасы. Затем отливки подвергают предварительному контролю для выявления в них видимых неисправимых дефектов (не полностью заполненные металлом стенки, явное нарушение

геометрии, вызванное перекосом стержней или сдвигом одной опоки относительно другой, и пр.).

3. ОБРУБКА, ОЧИСТКА И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОТЛИВОК

После выбивки из форм отливки обычно обрубают и очищают.

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

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

Литники от чугунных отливок легко отбиваются при слабом ударе. От мелких отливок они отделяются в основном при выбивке форм. Оставшиеся на отливках литники отбивают молотками или обламывают на прессах. В отдельных случаях отделение литников от чугунных отливок совмещают с предварительной очисткой в галтовочных барабанах. Литники от мелких стальных отливок также отбивают молотками. Прибыли и литники от крупных отливок из углеродистых и низколегированных сталей отделяют дуговой и газовой резкой. При производстве отливок из некоторых высоколегированных сталей для этой цели применяют механическую или анодно-механическую резку. Ленточные и дисковые пилы, механические прессы широко применяют для отрезки литников и прибылей от отливок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов.

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

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

Для усиления эффекта трения в барабан вместе с отливками загружают звездочки из отбеленного чугуна. При вращении барабана отливки перекатываются, трутся друг о друга и о звездочки, в результате чего удаляется приставшая к поверхности отливок формовочная смесь.

Галтовочные барабаны непрерывного действия (рис. 58) имеют два кожуха. Отливки по лотку 5 и звездочки с помощью лопаток 4 непрерывно поступают во внутренний кожух 1. Перемещаясь к другому концу барабана, отливки очищаются. Звездочки, не доходя до конца барабана, проваливаются во внешний кожух 2 и спиральными направляющими 3 вновь подаются к

загрузочному окну. Отработанная смесь проваливается через отверстия во внешней кожухе и удаляется из барабана.

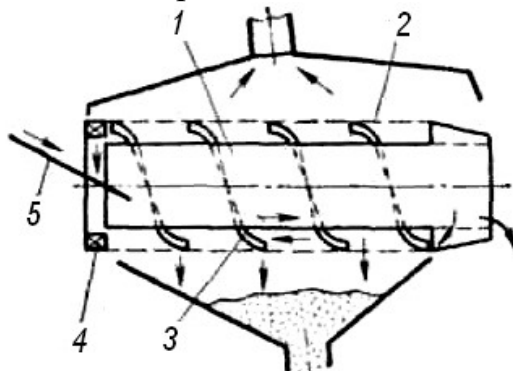


Рис. 58. Галтовочный барабан непрерывного действия для очистки отливок

Для очистки отливок широко используют дробеструйные аппараты. Из таких аппаратов на поверхности отливок под давлением воздуха или воды подается чугунная дробь. Она обладает большой кинетической энергией и очищает поверхность отливок тем быстрее, чем мощнее струя. Дробеструйную очистку проводят в барабанах, на поворотных столах, в специальных камерах. Выбор того или иного оборудования зависит от номенклатуры отливок и их сложности. Дробеструйной очистке нельзя подвергать отливки из мягких сплавов, так как это ухудшает качество их поверхностей. Для очистки отливок из алюминиевых сплавов вместо чугунной дроби используют кусочки алюминиевой проволоки.

Чугунные и стальные отливки обычно подвергают дробеметной очистке. На очищаемую поверхность дробь подается метательными головками 1 в виде турбинок, вращающихся с частотой до 3000 об/мин. Дробь, выбрасываемая большой центробежной силой, ударяется о поверхность отливок 2 и очищает ее (рис. 59).

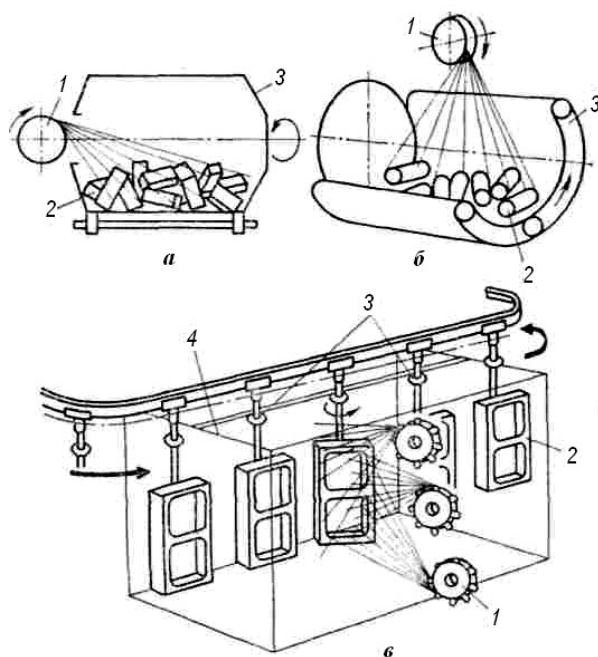


Рис. 59. Схемы дробеметной очистки отливок

Дробеметная очистка более производительна, чем дробеструйная. Она осуществляется в дробеметных очистных барабанах и камерах. В дробеметных барабанах очищают мелкие и средние отливки массой до 40 кг. Равномерная очистка всех поверхностей отливок достигается в процессе их перекатывания внутри вращающегося барабана 3 (рис. 59, а) или на движущемся пластинчатом конвейере 3 (рис. 59, б) внутри неподвижного барабана. В массовом производстве применяют очистные барабаны с пластинчатым конвейером непрерывного действия, в которых отливки в процессе очистки перемещаются еще вдоль оси барабана.

В дробеметных камерах очищают отливки массой более 50 кг. Отливки устанавливают на вращающиеся очистные столы или подвешивают на вращающиеся подвески 3 (рис. 59, в). Очистка происходит внутри камеры 4. В массовом производстве применяют проходные дробеметные камеры непрерывного действия, а при небольшом объеме производства отливок — тупиковые дробеметные камеры периодического действия.

Остатки смеси и пригар на внутренних поверхностях чугунных и стальных отливок, труднодоступных при дробеметной очистке, успешно удаляют электрохимической обработкой. Для этого отливки погружают в расплав NaOH или KOH, температура которого 450—500 °С, и подключают к источнику постоянного тока напряжением 2,5—3,5 В и плотностью 0,03—0,05 А/м². Отливки в течение 7—8 мин являются катодом, в течение 3—4 мин анодом и 3—4 мин вновь катодом. После этого их промывают в холодной и горячей воде. Очистка поверхности отливок происходит за счет катодного восстановления оксидов железа и растворения SiO₂ пригара и смеси в щелочном расплаве с образованием силикатов.

Мелкие отливки весьма эффективно очищаются вибрационным способом. Для этого отливки и абразивный наполнитель загружают в контейнер, установленный на упругой подвеске, и приводят в колебательное движение с частотой до 3000 в минуту с амплитудой 3—5 мм. В процессе взаимного перемещения частицы наполнителя обрабатывают металлическую поверхность.

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

Зачистку отливок проводят с целью удаления мелких заливов, остатков прибылей и литников, а также других неровностей и выступов на поверхности отливки. Эту операцию выполняют с помощью абразивных кругов, установленных на различных станках. Отливки массой до 10 кг зачищают на стационарных шлифовальных станках. Для очистки отливок большей массы применяют подвесные, маятниковые или переносные станки. В массовом производстве мелких и средних отливок нашли применение полуавтоматические и автоматические станки и линии, обеспечивающие повышение производительности обработки в 5—10 раз. Отливки из вязких сплавов — сталей, ковкого чугуна, бронзы и алюминиевых сплавов —

зачищают корундовыми шлифовальными кругами, а отливки из хрупких сплавов, например серого чугуна, — карборундовыми.

Отливки из легкоплавких сплавов очищают также электроконтактным способом. По этому способу отливку и вращающийся стальной диск подключают к источнику тока. При контакте диска с выступом на поверхности отливки цепь замыкается, заусенцы и заливы оплавляются и в виде мелких частичек отбрасываются диском от зачищаемой поверхности.

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

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

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

Чугунные отливки подвергают термической обработке значительно реже. Ее применяют для снятия внутренних напряжений, стабилизации размеров, снижения твердости и улучшения обрабатываемости, повышения механических свойств или износостойкости. При низкотемпературном отжиге (500—630 °С) снимаются внутренние напряжения и стабилизируются размеры отливки, а механические свойства практически не изменяются. При низкотемпературном графитизирующем отжиге (680—750 °С) происходит графитизация и частичная сфероидизация эвтектоидного цементита. Вследствие этого снижаются прочность и твердость, но улучшается обрабатываемость.

Высокотемпературный графитизирующий отжиг (850—980 °С) применяют для графитизации первичных карбидов в чугунах всех видов. При получении ковкого чугуна из белого этот вид термообработки является обязательным.

При нормализации и закалке чугуновых отливок улучшаются механические свойства. При нагреве до 850—950 °С часть графита растворяется в аустените. При последующем охлаждении на воздухе или в закалочной среде углерод не успевает вновь полностью выделиться в виде графита, поэтому количество связанного в цементит углерода возрастает, и прочность, твердость, а также износостойкость отливки увеличиваются. При нормализации чугуна образуется перлитная металлическая матрица, а при закалке — мартенситная. Соответственно во втором случае достигается больший прирост твердости, прочности и износостойкости. Закаленные отливки требуют дополнительной термической обработки для снятия внутренних напряжений.

Чугунные отливки при необходимости придания им особых свойств подвергают химико-термической обработке: азотированию, алитированию, сульфидированию, борированию и т. п.

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

4. ДЕФЕКТЫ ОТЛИВОК И ИХ ИСПРАВЛЕНИЕ

Отливки, прошедшие промежуточный контроль на различных стадиях технологического процесса, подвергают окончательному контролю для определения их соответствия требованиям стандартов и технических условий. Проверяют химический состав сплава, структуру, геометрию и размеры отливок, механические свойства, устанавливают отсутствие поверхностных и внутренних дефектов. В зависимости от назначения и ответственности отливок производят сплошной или выборочный контроль.

Соответствие по геометрии устанавливают путем разметки отливок на специальных разметочных столах (плитах) с помощью различных измерительных инструментов и приспособлений. Так выявляют коробление, перекося, подутость и разностенность. Систематический контроль размеров отливок позволяет своевременно предупредить брак из-за износа или коробления моделей и стержневых ящиков. Точность отливок по массе устанавливают взвешиванием.

Механические свойства (временное сопротивление, твердость, относительное удлинение, ударную вязкость и др.) определяют испытаниями отдельно изготовленных или прилитых образцов. В некоторых случаях образцы вырезают из тела отливки. Число отливок, отбираемых для испытания, регламентируется техническими условиями на поставку. Герметичность отливок, которые по условиям работы должны выдерживать повышенное давление газа или жидкости, контролируют путем проведения гидро- или пневмоиспытаний при давлениях, несколько превышающих рабочие.

Внутренние дефекты отливок выявляют методами радиографической и ультразвуковой дефектоскопии. В радиографической дефектоскопии (рентгеноскопии, гамма-дефектоскопии) получают негативный снимок отливки при облучении рентгеновскими или гамма-лучами. Дефекты отливок (шлаковые включения, газовые и усадочные раковины, рыхлота, поры, трещины) в меньшей степени поглощают (ослабляют) интенсивность лучей, чем сам металл, поэтому на пленке такие дефекты появляются в виде темных пятен. Радиографические методы позволяют определить глубину залегания дефекта и его размеры.

При ультразвуковом контроле используется способность ультразвуковой волны отражаться от границы раздела двух сред. По интенсивности и направлению отраженных волн судят о месте, протяженности и глубине залегания дефекта. Для обнаружения дефекта необходимо, чтобы поперечные размеры его были не меньше длины ультразвуковой волны.

Поверхностные дефекты отливок в виде трещин, пор и раковин, пригара и ужимин выявляют различными методами. Видимые дефекты обнаруживают при визуальном осмотре путем сравнения с эталоном. Невидимые поверхностные дефекты определяют с помощью люминесцентной, магнитной и цветовой дефектоскопии.

При люминесцентном методе на поверхность отливки наносят слой раствора, способного светиться в ультрафиолетовых лучах. Раствор затекает в тонкие трещины, поры и раковины. С поверхности отливки раствор смывают водой и после сушки на нее наносят тонкоизмельченный силикагель, способный впитывать флюоресцирующий раствор, оставшийся в углублениях и трещинах. Отливку устанавливают под источник ультрафиолетового света и по яркому свечению порошка определяют место и размеры поверхностных дефектов.

Магнитную дефектоскопию применяют для выявления в отливках из магнитных сплавов поверхностных трещин шириной более 0,001 мм и внутренних дефектов, расположенных на глубине до 2 мм. Для этого отливку намагничивают и покрывают тончайшим магнитным порошком или суспензией порошка в воде или масле. По искажению силовых магнитных линий и возникновению бугорков из магнитного порошка судят о размерах и форме дефекта. Метод цветовой дефектоскопии состоит в погружении отливок на 5—10 мин в красную краску, которая проникает в трещины и поры. Затем красную краску удаляют с поверхности отливки и на нее наносят тонкий слой белой краски. После подсушки в местах расположения трещин и пор на белом фоне проявляются их следы в виде красных линий и точек. Чем глубже и крупнее дефекты, тем соответственно ярче и больше их красные следы. После контроля белую краску смывают растворителем.

Шероховатость поверхности контролируют с помощью эталонов и специальных приборов — профилографов и профилометров.

Дефекты отливок исправляют, если это технически возможно и экономически целесообразно. В противном случае отливку бракуют. Наиболее распространенными способами исправления дефектов являются правка, заварка и пропитка.

Правкой исправляют коробление отливок. Для этого на отливку оказывают механическое воздействие — ее пластически деформируют на прессах или молотками и восстанавливают требуемую геометрию.

Поверхностные дефекты исправляют дуговой и газовой сваркой. Для этого дефектное место отливки предварительно разделявают — придают сечению завариваемого места V-образную форму. Дуговой сваркой без подогрева исправляют дефекты чугунных отливок. Для этого применяют стальные, медно-стальные и медно-никелевые электроды.

Значительно шире используют дуговую, аргонодуговую и газовую сварку с подогревом. Во избежание появления больших термических напряжений отливки перед сваркой нагревают (чугунные до 550—700 °С, алюминиевые и магниевые до 350—400 °С); чтобы исключить окисление, применяют специальные флюсы или защитные газы. В большинстве случаев сварку осуществляют сплавом, не отличающимся по составу от сплава отливки. Сварка сопровождается местным нагревом отливки. Такой нагрев может вызвать появление термических напряжений и трещин. Для устранения напряжений отливки после сварки подвергают повторному отжигу. При сварке дефекта искажаются размеры и твердость детали, поэтому необходима повторная термическая и механическая обработка.

Дефекты механически обработанных стальных отливок исправляют пайкой. Для пайки применяют твердые припои Cu—Ni, Cu—Ag и др.

Пропитка является основным способом исправления пористых отливок. Для пропитки широко используют бакелитовый и асфальтовый лаки, натуральную олифу, жидкое стекло и этилсиликат. Пропитку лаками проводят в специальных баках при температуре 150—200 °С под давлением 0,5—0,6 МПа. Жидким стеклом отливки пропитывают при 85—95 °С. Перед пропиткой отливки, чтобы очистить их от масла, промывают в тетрахлориде углерода и подвергают вакуумированию. Длительность пропитки определяется толщиной стенок, размерами пор и свойствами пропитывающего материала. Она колеблется от 0,5 до 1,5 ч. Для отверждения пропитывающего материала отливки нагревают до 125—175 °С (при: пропитке жидким стеклом до 100—110 °С) и выдерживают в течение 3—5 ч.

Поверхностные дефекты, существенно не влияющие на прочность отливок, заделывают пастами, состоящими из наполнителя (каменной муки, цемента, металлической стружки), связующего (жидкого стекла, эпоксидной смолы) и отвердителя.

После исправления дефектов отливки вновь подвергают контролю. Перед сдачей на склад чугунные отливки грунтуют или окрашивают; отливки из магниевых сплавов проходят специальную химическую обработку для получения защитной оксидной пленки.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

Прежде чем приступить к проектированию технологического процесса изготовления отливки, необходимо выбрать наиболее рациональный способ ее производства, который наряду с требующимися служебными свойствами изделия обеспечил бы наиболее высокие технико-экономические показатели производства и экономный расход материалов.

При выборе технологического процесса учитывают вид сплава, назначение и конструкцию изделия, серийность производства, а также производственные возможности цеха (наличие определенного парка формовочных и стержневых машин, плавильных агрегатов, подъемно-транспортного оборудования и пр.).

Технологический процесс изготовления отливки проектируют в определенной последовательности и в соответствии со стандартами ЕСКД (в частности, с ГОСТ 2.423—73), ЕСТД и др. При проектировании поступают следующим образом.

1. На чертеж изделия наносят модельно-литейные указания. Дополненный таким образом чертеж при единичном и мелкосерийном производстве представляет собой основной технологический документ. Он определяет все особенности технологического процесса и является основой для проектирования и изготовления модельного комплекта и выбора других приспособлений (опок, шаблонов и пр.), необходимых для изготовления литейной формы. В массовом и крупносерийном производстве на все объекты модельной оснастки разрабатывают рабочие чертежи и технологию изготовления каждого объекта оснастки.

2. Заполняют технологическую карту, в которой определяют порядок операций и методику изготовления отливки.

3. Вычерчивают чертеж (или эскиз) собранной формы со всеми размерами (см. рис. 2). Он должен давать представление о расположении стержней, литниковой системы, холодильников, выпоров, прибылей. С этой целью вычерчивают минимально необходимое число разрезов формы с тем, чтобы можно было собрать форму, не прибегая к помощи чертежа отливки.

При нанесении технологических указаний на чертеже детали определяют оптимальный разъем модели и формы (рис. 60), положение отливки в форме при заливке; последнее устанавливают в зависимости от конфигурации отливки, вида формы, литниковой системы, требований в отношении плотности металла, шероховатости поверхности и т. д. Для получения плотной отливки в соответствии с принципом направленной кристаллизации наиболее массивные ее узлы располагают при заливке сверху, ответственные поверхности отливки стремятся расположить внизу или вертикально. Положение отливки в форме

при заливке указывается стрелками и буквами В (верх) и Н (низ). Разъем модели и формы указывают на всех проекциях буквами МФ.

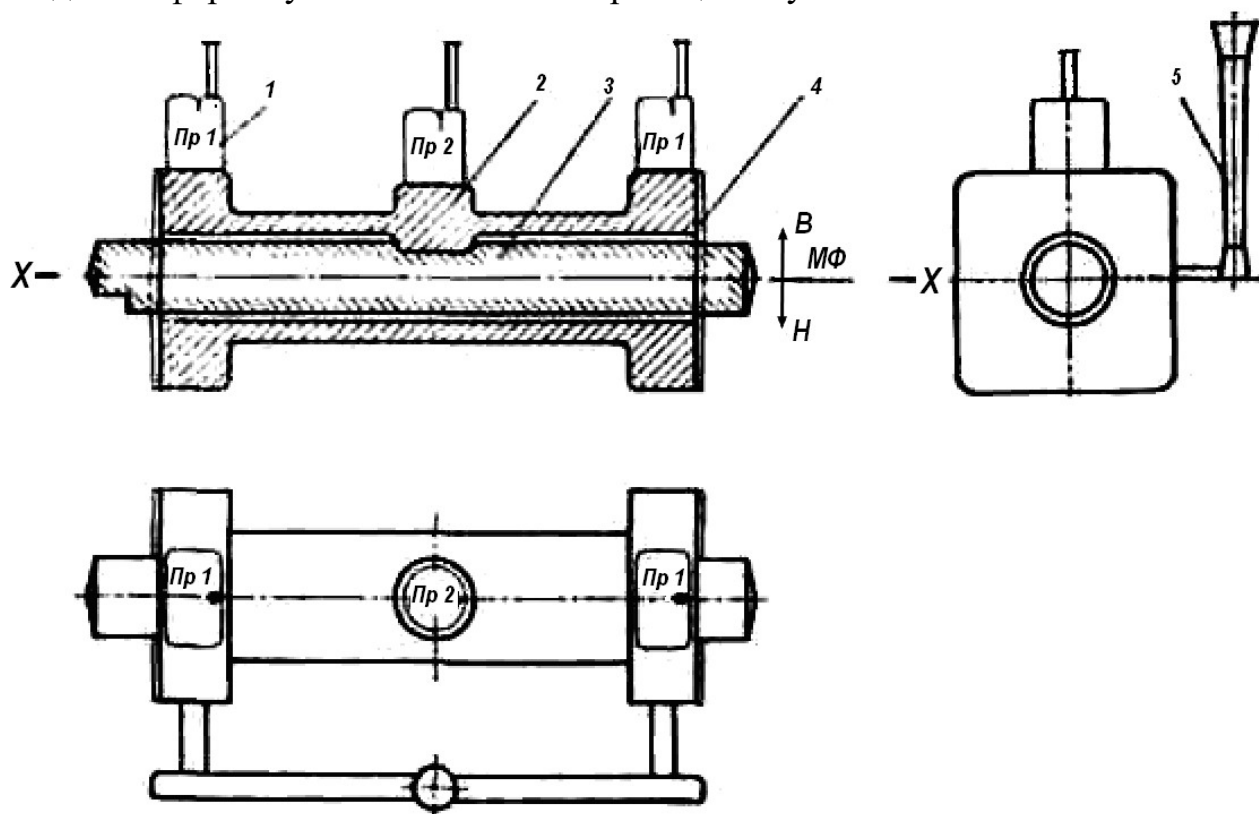


Рис. 60. Техническая разработка отливки: 1 — прибыль; 2 — отливка; 3 — стержень; 4 — припуск на механическую обработку 5 — литниковая система

При определении разъема модели и формы выбирают такой вариант, который обеспечивает наименьшую трудоемкость изготовления модельной оснастки и формы, беспрепятственное удаление модели из формы, повышение размерной точности отливки и уменьшение затрат на очистку и дальнейшую ее обработку. При использовании неразъемных моделей указывают только разъем формы; его обозначают буквой Ф. В том случае, когда отдельные части модели при ее извлечении могут разрушить форму, они выполняются отъемными. Отъемные части удаляют из формы после извлечения основной части модели, так как их устанавливают на модели и извлекают из формы вручную, что снижает производительность машины. При машинной формовке в этих целях целесообразно применять добавочные стержни.

На чертеже указывают также припуски на механическую обработку. Припуск—слой металла (на сторону), предназначенный для снятия в процессе механической обработки отливки. Величину припусков выбирают в зависимости от способа литья, материала и класса точности отливки, наибольшего размера отливки, а также положения обрабатываемой поверхности в форме в момент заливки. Для отливок из чугуна припуски назначают по ГОСТ 1855—55, из стали по ГОСТ 2009—55. Припуски на механическую обработку для отливок из цветных сплавов в связи с отсутствием

ГОСТов назначают по нормам машиностроения. Для тех поверхностей отливки, которые при заливке металлом формы обращены вверх, назначают припуск больший, чем на нижних и боковых поверхностях, так как неметаллические и газовые включения скапливаются обычно наверху.

Для облегчения извлечения модели из формы на ее вертикальных поверхностях (перпендикулярных к плоскости разъема) выполняются уклоны. Уклоны могут быть конструктивными и формовочными. Уклоны, предусмотренные при конструировании отливок, называют конструктивными; размеры отливок в этом случае не изменяются. При отсутствии конструктивных уклонов предусматривают формовочные уклоны, которые влекут за собой изменение размеров отливки (рис. 61).

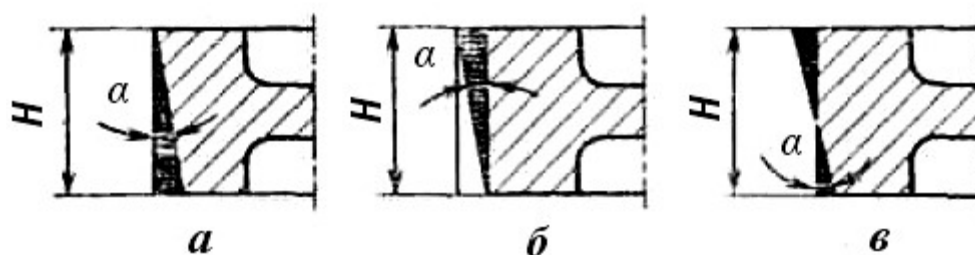


Рис. 61. Формовочные уклоны поверхностей: *а* — необрабатываемых, сопрягаемых с другими деталями (за счет уменьшения размера отливки); *б* — обрабатываемых, сверх припуска на механическую обработку (за счет увеличения размера отливки); *в* — необрабатываемых, не сопрягаемых с другими деталями (за счет одновременного уменьшения и увеличения размеров отливки); *H* — высота модели; α — уклон

Для получения на отливках плавных переходов от одной поверхности к другой предусматривают галтели, которые улучшают качество отливок.

Далее, при нанесении технологических указаний на чертеже детали определяют число стержней, оформляющих внутренние полости отливки или отдельные ее внешние части и их границы. Стержням присваивают номера в порядке простановки их в форму. Устанавливают тип литниковой системы, места подвода питателей к отливке. Рассчитывают литниковую систему и показывают на чертеже детали во всех необходимых проекциях, позволяющих получить полное представление о всех ее элементах. Прибыли и выпоры вычерчивают так же, как и литниковую систему — в масштабе и во всех необходимых проекциях. Каждой прибыли присваивается порядковый номер.

На чертеже отливки показывают холодильники и другие элементы, применение которых необходимо для получения качественной отливки.

Модельно-литейные указания в соответствии с ГОСТ 2.423—73 должны наноситься на чертеж только черным карандашом.

При машинной формовке по моделям, устанавливаемым на модельную плиту, чертеж с модельно-литейными указаниями дополняют чертежом плиты с

расположенными на ней моделями отливки, литниковой системы и спаривающих устройств.

Вторым документом, в котором фиксируют технологический процесс, является технологическая карта. Как правило, технологические карты разрабатывают в условиях массового и крупносерийного производства; в мелкосерийном и единичном производстве необходимые технологические указания приводят на чертеже детали.

Технологическая карта определяет как порядок, так и условия выполнения технологических операций при изготовлении отливки. В ней также перечисляют необходимые материалы, оборудование, оснастку, основной и вспомогательный инструмент, норму выработки в смену, разряд рабочих и их число, часовую тарифную ставку и расценки на одну отливку. Для каждого отделения литейного цеха в карте приводят перечень технологических указаний по изготовлению модельного комплекта, стержневых ящиков, литейной формы и стержней, указывают продолжительность и температуру заливки металла в форму, температуру выбивки отливки из формы, способы очистки поверхности отливки, термической обработки и контроля.

С целью получения качественных отливок в технологической карте оговаривают допустимые колебания технологических и теплофизических параметров (свойств формовочных и стержневых смесей, химического состава и температуры заливаемого металла, режима сушки форм и стержней и т. д.). Точное соблюдение технологических указаний является одним из основных условий получения качественных отливок, снижения брака в литейном цехе.

РАЗДЕЛ III

ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ РАЗЛИЧНЫХ СПЛАВОВ

Лекция 13, 14

ЧУГУННЫЕ ОТЛИВКИ

Чугун является наиболее распространенным материалом для изготовления фасонных отливок. В разных странах, в зависимости от развития машиностроения и других отраслей производства, чугунные отливки составляют 74—83 % от общего числа отливок. Область применения чугуна продолжает расширяться вследствие непрерывного повышения его прочности и эксплуатационных свойств, а также разработки чугунов новых марок со специальными физическими и химическими свойствами. Широкое распространение чугун получил благодаря хорошим технологическим свойствам и низкой себестоимости по сравнению с другими литейными сплавами.

Чугун — это многокомпонентный сплав железа с углеродом и другими элементами, характеризующийся эвтектическим превращением. Процессы,

протекающие при кристаллизации, формирование структуры можно проследить по двойной диаграмме равновесного состояния (рис. 62). По существу здесь представлены две диаграммы: первая — железо—графит, согласно которой весь углерод сплава кристаллизуется в виде графита, а металлическая основа в виде феррита (серый ферритный чугун); вторая — железо—цементит, согласно которой весь углерод кристаллизуется в составе цементита Fe_3C , а металлическая матрица представляет собой перлит (белый чугун).

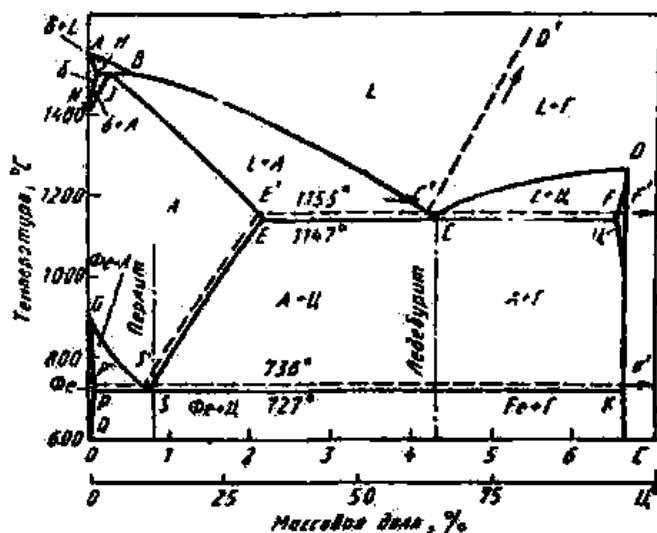


Рис. 62. Равновесная диаграмма Fe—C сплавов (— — стабильное равновесие FeC ; --- — метастабильное равновесие $\text{Fe}—\text{Fe}_3\text{C}$)

В половинчатом чугуне наряду с графитом находится структурно-свободный цементит. Металлическая основа серых чугунов может быть ферритной, перлитной или перлитно-ферритной. Наличие в чугуне этих составляющих можно объяснить только возможностью смешанной кристаллизации, при которой на различных этапах охлаждения сплава она протекает по стабильной или метастабильной диаграмме.

На характер кристаллизации чугуна, а также форму, размеры и расположение образующихся фаз влияет много факторов. Это, прежде всего состав сплава, т. е. содержание элементов, постоянно присутствующих в чугуне (C, Si, Mn, S, P), наличие и концентрация легирующих элементов, а также микропримесей. Большое влияние оказывает скорость охлаждения чугуна, изменение которой в стенках разной толщины вызывает образование различных микроструктур в одной и той же отливке.

Структуру чугуна можно изменять, воздействуя на жидкий расплав (перегревом, модифицированием, рафинированием и т. д.), а в ряде случаев последующей термической обработкой, хотя при этом форма графита, выделившегося при кристаллизации, остается неизменной. Совместное влияние указанных факторов определяет все многообразие структур, получаемых в отливках.

1. СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧУГУНА

Методы изучения, оценки и классификации структуры чугунов регламентированы ГОСТ 3443—77. Согласно этому стандарту, металлическая матрица оценивается по соотношению феррита и перлита (рис. 63) и степени дисперсности последнего (рис. 64).



Рис. 63. Микроструктура чугунов с различным содержанием перлита в металлической основе, %: *а* — 94 — 98; *б* — 30—60; *в* — 2—10, X100



Рис. 64. Микроструктура чугунов с различной дисперсностью перлита (расстоянием между пластинами цементита), мкм: *а* — до 0,3; *б* — 0,8 — 1,3; *в* — более 1,6, X500

Графит классифицируют по количеству и размерам включений, их форме и распределению (рис. 65).

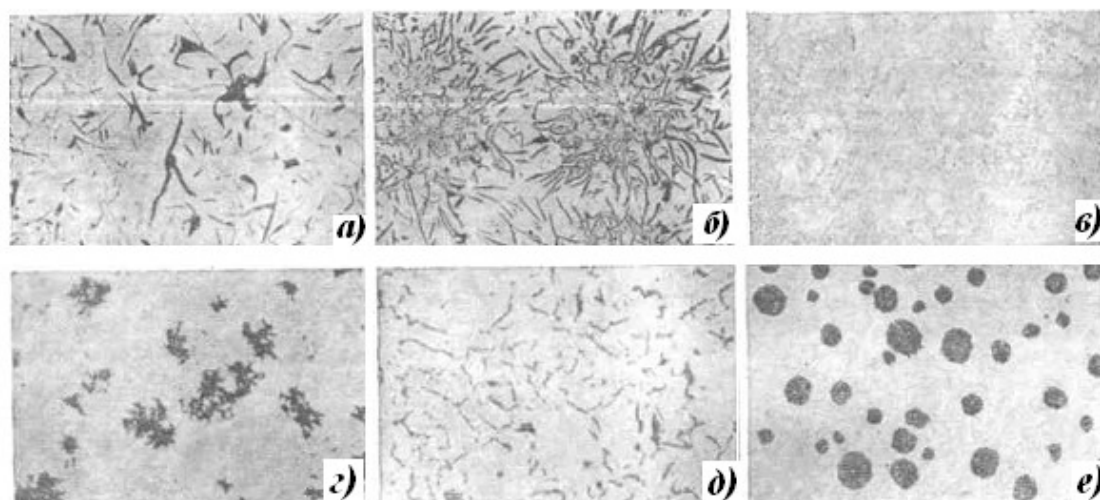


Рис. 65. Распределение и виды графитовых включений, X 100

Не все включения графита, видимые на плоскости шлифа, являются изолированными. Методами последовательного шлифования и декантации показано, что графитовое включение имеет сложную объемную форму, а разобщенные пластинки неравномерного, розеточного и междендритного распределения (рис. 65, *а—в, д*) — это сечения лепестков графитового кристаллита. Включения компактной формы — шаровидные и хлопьевидные (рис. 65, *г, е*) — являются изолированными.

Графит оказывает сильное влияние на основные свойства чугуна, в первую очередь на прочность и пластичность, характеризующие чугун как конструкционный материал. Это влияние складывается из ослабления поперечного сечения металлической основы в направлении, перпендикулярном приложению внешней растягивающей силы, и суживающего действия, связанного с изменением длины и плотности силовых линий, следующих разветвлениям металлических мостков, обусловленных хаотическим распределением включений графита.

Графитовые включения оказывают также надрезающее влияние на металлическую основу. Пониманию этого явления помогает схема, показанная на рис. 66.

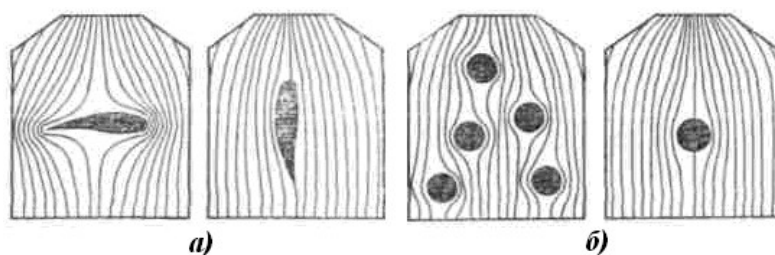


Рис. 66. Зависимость распределения силовых линий в металлической основе чугуна от формы графита: *а* — пластинчатый; *б* — шаровидный

Увеличение плотности силовых линий соответствует повышению напряжений. По краям графитовых включений происходит наибольшее сближение силовых линий. Чем острее край включения, тем больше это сближение у острия и тем больше локальное повышение напряжений. При их определенной величине в надрезанной металлической основе последняя разрушается. Отрицательное влияние графита сказывается тем в меньшей степени, чем меньше количество и размеры его включений и чем более их форма приближается к шаровидной.

В общем случае графит уменьшает временное сопротивление и предел текучести, пластичность (относительное удлинение, ударную вязкость) и модуль упругости.

В то же время, в отличие от стали, чугун менее чувствителен к надразам. Благодаря этому раковины, поры, неметаллические включения, риски после механической обработки и т. п. в малой степени снижают конструктивную прочность отливки. Подобные же надрезы в стальной отливке резко ухудшают ее свойства, особенно пластичность и усталостную прочность. Эта особенность чугуна объясняется наличием большого количества надразов, образуемых графитовыми включениями, и высокой циклической вязкостью чугуна. Циклическая вязкость характеризуется энергией, которая рассеивается

(переводится в теплоту) при переменных нагрузках в области упругих деформаций. Благодаря этим преимуществам чугун в ряде случаев оказывается более надежным конструкционным материалом, чем сталь.

Наиболее прочной структурной составляющей чугуна является перлит (временное сопротивление $\sigma_b = 700$ МПа) по сравнению с ферритом ($\sigma_b = 400$ МПа при 2 % кремния) и цементитом ($\sigma_b = 20$ МПа). Ферритизация матрицы и появление структурно свободного цементита снижают прочностные свойства сплава.

Таким образом, для повышения прочности чугуна его кристаллизация должна обеспечить:

- уменьшение количества феррита, исключение выделения структурно свободного цементита, получение перлита с наибольшей степенью дисперсности;
- уменьшение количества графита и размеров его включений;
- приближение формы графита к шаровидной, при которой ослабляется его надрезающее влияние.

2. ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ

Формирование литой структуры чугунной отливки определяется процессами первичной кристаллизации. В зависимости от степени эвтектичности сплава его затвердевание начинается с образования избыточной фазы — аустенита в доэвтектических чугунах или высокоуглеродистой фазы — в заэвтектических. Наиболее важным и значительным, но одновременно и наименее исследованным является эвтектическое превращение. При анализе процессов необходим всесторонний учет как термодинамических, так и кинетических факторов.

Рассмотрим образование структуры чугуна на примере кристаллизации доэвтектического железоуглеродистого сплава. Его затвердевание начинается с выделения первичного аустенита переменного состава. Аустенит кристаллизуется в виде дендритов, количество и размеры которых определяются строением расплава и условиями его охлаждения. Первичный аустенит выделяется почти во всем объеме медленно кристаллизующейся отливки (рис. 67).

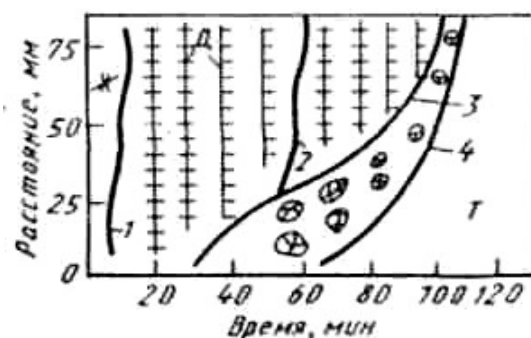


Рис. 67. Кинетика кристаллизации аустенита и эвтектики по сечению (от края к центру) отливки из серого чугуна при литье в песчаную форму: 1 и 2 — начало и конец кристаллизации аустенита; 3 и 4 — начало и конец кристаллизации эвтектики; Ж и Т — соответственно жидкое и твердое состояния; Д — дендриты аустенита

При увеличении скорости охлаждения расплава растет объемная и линейная скорость кристаллизации, в результате получают более разветвленные дендриты. Когда скорость кристаллизации ниже скорости теплоотвода, дендриты аустенита растут направленно (рис. 68).



Рис. 68. Дендриты аустенита в кристаллизующейся отливке

При эвтектическом превращении происходит распад жидкости на аустенит и высокоуглеродистую фазу. Последняя определяет конечную структуру чугуна. Он будет белым, если высокоуглеродистой фазой является цементит, или серым, если высокоуглеродистой фазой является графит. При смешанной кристаллизации получается половинчатый чугун. Характер эвтектической кристаллизации существенно влияет на форму, размеры и распределение графитовых включений в сером чугуне.

В случае относительно медленного охлаждения при эвтектическом превращении происходит образование аустенита и графита; последний является ведущей фазой. Аустенит эвтектики частично выделяется на кристаллах первичного аустенита и частично в непосредственном контакте с графитом, образуя аустенитно-графитовые колонии, чаще всего имеющие сферическую форму.

Как известно, кристаллическая структура графита характеризуется заметной анизотропией. Атомы углерода в слое (базисной плоскости) расположены друг от друга на расстоянии 0,1421 нм, в то время как в перпендикулярном направлении расстояние между ближайшими атомами составляет 0,335 нм. Энергия связи углеродных атомов в плоскости базиса почти в 12 раз превышает энергию связи между атомами соседних базисных слоев (призмной грани). Рост графитового включения происходит диффузионным переносом атомов углерода. Образовавшийся в жидкости эвтектического состава графит разрастается не равномерно, а избирательно, преимущественно в направлении, параллельном базисной плоскости, где атомы удерживаются прочнее. С другой стороны, изменяются и условия доставки атомов углерода для достройки граней. Выделяющийся эвтектический аустенит в отдельных местах устраняет контакт графита с жидкой фазой, затрудняет доставку углерода к базисным граням. Фрактограмма на рис. 69 иллюстрирует ступенчатый рост графитового лепестка из жидкой фазы.



Рис. 69. Ступенчатый рост графитового лепестка, X 1000

С увеличением скорости охлаждения количество аустенитно-графитовых колоний увеличивается, размер их уменьшается, и графит становится все более мелким. На размеры и распределение графита значительно влияет степень эвтектичности чугуна, т. е. степень приближения сплава по составу к эвтектическому. Степень эвтектичности определяется, прежде всего, содержанием углерода и количеством элементов (в первую очередь, кремния), уменьшающих концентрацию углерода в эвтектике. Чем меньше степень эвтектичности чугуна, тем большая часть сплава закристаллизовывается в виде первичного аустенита и меньше жидкого расплава остается к моменту начала эвтектического превращения. Это способствует уменьшению количества графита и размельчению его включений.

На условия первичной кристаллизации также влияет присутствие в расплаве неметаллических включений, микропримесей и т. д. Например, Mg, Se и некоторые другие элементы в количестве нескольких сотых или десятых процента существенно изменяют характер кристаллизации сплава, вызывая последовательное изменение формы графита от пластинчатой до шаровидной.

Существует ряд гипотез для объяснения механизма формообразования графита. Н. Г. Гиршович объединил основные из них в три группы:

- гипотезы, устанавливающие определяющую роль природы, строения и формы зародышевой фазы;

- гипотезы, связывающие форму графитовых образований с механическим воздействием на растущий кристаллит;

- гипотезы, в которых приоритет имеют факторы, выравнивающие скорость роста отдельных граней графитовых включений.

Достаточно широкое распространение получили теории К. П. Бунина, Ю. Н. Тарана, Я. Н. Малиночки, согласно которым эвтектический аустенит, образуя оторочку вокруг растущего графита, выравнивает скорость подвода атомов углерода из жидкой фазы и отвод атомов железа во всех направлениях, благодаря чему графит приобретает шаровидную форму.

Процесс формообразования графита был исследован в Московском институте стали и сплавов А. М. Михайловым, Н. С. Беспаловым, В. И. Воронцовым, Мусой Туни Хассаном. Используя метод скоростного отделения жидкой фазы от закристаллизовавшегося сплава, они подтвердили непрерывность перехода от пластинчатой к шаровидной форме, что позволило по-иному представить механизм этого процесса (рис. 70).

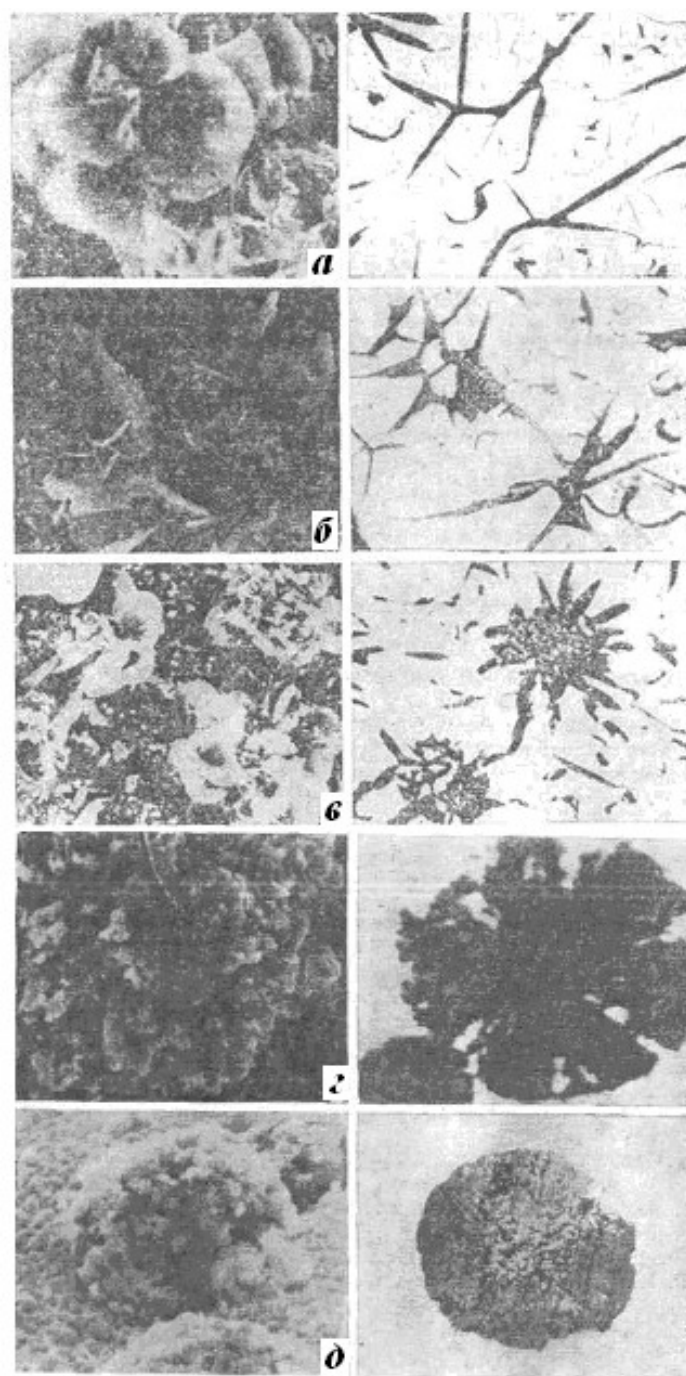


Рис. 70. Изменение формы графита в сплаве железа с 4,6 % С при обработке различным количеством Се, %: *а* — 0, X 300; *б* — 0,05, X 300; *в* — 0,15, X 300; *г* — 0,2, X 1000; *д* — 0,3, X 1000. Слева — фраттограммы поверхности кристаллизации, справа — металлографические шлифы (не травлено)

Открытая поверхность кристаллизации включений дендритов графита позволяет заключить, что они растут в контакте с жидкой фазой не только в области кромок.

На лепестках (ветвях) дендрита графита наблюдаются ступени роста гексагональной формы (см. рис. 69). Утолщение лепестка происходит путем последовательного появления и разрастания на базисной плоскости этих ступеней. Переход от пластинчатой розеточной формы включения к компактной происходит в результате многократного ветвления лепестков, т. е.

появления, роста и дальнейшего образования ветвей высших порядков в дендрите графита.

Среди промежуточных форм графита различной степени компактности наибольший интерес представляет вермикулярный графит, который имеет вид коротких и толстых псевдопластин с притуплёнными концами. Относительно большая округлость включений вермикулярного графита по сравнению с пластинчатым обуславливает повышенные механические свойства чугуна. Строение вермикулярного графита наглядно иллюстрируется фрактограммой (рис. 71), из которой следует, что единичные разобщенные пластины, видимые в плоскости шлифа, на самом деле представляют собой отдельные ветви сложного образования.

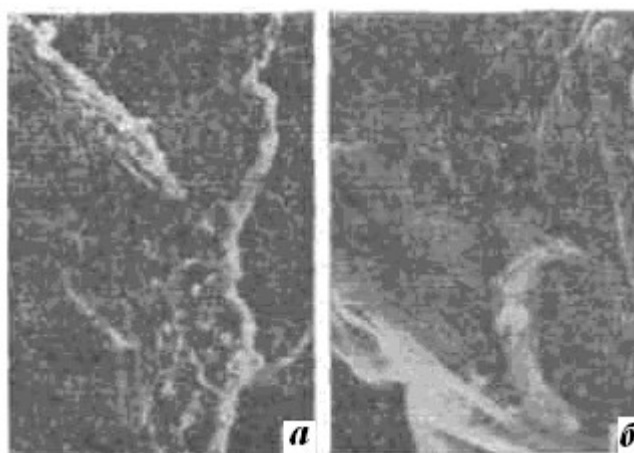


Рис. 71. Вермикулярный графит: *а* — X500; *б* — X4500

Повышение скорости охлаждения сплава и связанное с этим увеличение переохлаждения могут качественно изменить характер продуктов эвтектического превращения. Продолжительность пребывания сплава в жидком состоянии в период эвтектического превращения, вследствие высокой скорости охлаждения, настолько сокращается, что выделение углерода из жидкой фазы и раздельная кристаллизация графита и аустенита происходят не в полной мере. В результате кристаллизующаяся фаза обогащается железом. В этом случае наряду с аустенитом кристаллизуются и карбиды. Такое торможение кристаллизации графита может быть полным, и выделившаяся высокоуглеродистая фаза будет целиком состоять из карбидов, что приведет к образованию белого чугуна. При промежуточных скоростях охлаждения вместе с графитом кристаллизуются карбиды, что соответствует получению половинчатых чугунов.

Структура чугуна окончательно формируется при эвтектоидном превращении. В сером чугуне к моменту эвтектоидного превращения основными структурными составляющими являются аустенит и графит, образовавшийся при эвтектическом превращении, а также выделившийся из аустенита вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените при

охлаждении в интервале температур от эвтектического до эвтектоидного превращения.

Эвтектоидное превращение (распад аустенита) связано с перестройкой гранецентрированной решетки (γ -Fe), в кубическую объемно-центрированную (α -Fe) и сопровождается резким изменением растворимости углерода. В результате превращения образуются структуры, состоящие из феррита и высокоуглеродистой фазы.

При очень малых скоростях охлаждения происходит полное диффузионное отделение углерода, выделяющегося в виде графита, преимущественно на его эвтектических включениях. В этом случае окончательная структура чугуна будет состоять из феррита и графита. При скорости охлаждения больше определенного критического значения высокоуглеродистой фазой станет цементит и будет образовываться ферритно-цементитная эвтектоидная смесь — перлит. В перлитных серых чугунах не протекает вторая стадия графитизации и, следовательно, количество графита уменьшается, а матрица упрочняется. Повышение скорости охлаждения способствует получению более дисперсного перлита. При промежуточных скоростях охлаждения отливки в интервале температур эвтектоидного превращения формируется структура, состоящая из графита, перлита и феррита.

3. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ, МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА ЧУГУНА

На процесс первичной и вторичной кристаллизации чугуна влияют химический состав, скорость охлаждения отливки и состояние расплава. Следовательно, совместное влияние этих факторов определяет конечную структуру чугуна и его механические свойства. Свойства чугуна могут также быть изменены путем термической обработки отливок.

Влияние химического состава. Серые чугуны содержат 2,4—3,6 % C; 0,5—3 % Si; 0,2—1 % Mn; 0,04—0,3 % P; 0,02—0,2 % S. Легированные чугуны содержат большее количество Si, Mn, P и различное количество специальных элементов. Влияние того или иного элемента, входящего в состав чугуна, на структуру, механические и технологические свойства определяется в первую очередь воздействием его на графитизацию. Элементы можно расположить в ряд в зависимости от их положительного или отрицательного влияния на графитизацию: Al, C, Si, Ti, Ni, Cu, P, Co, Zr, Nb, W, Mn, Mo, S, Cr, V, Te, Mg, Sr, B. Элементы, расположенные слева от ниобия, способствуют графитизации, а элементы, расположенные справа от него, — тормозят ее. Влияние элемента тем интенсивнее, чем дальше он расположен от ниобия.

В работах В. К. Григоровича и других авторов показано, что рассмотрение влияния легирующих элементов в чугунах на стабилизацию цементита за счет образования твердых растворов на основе цементита при замещении атомов железа или углерода позволяет уточнить их влияние на графитизацию. На этой

основе получены периодическая кривая валентностей элементов и зависимость графитизирующей способности легирующих элементов от заряда ядра. Графитизирующее и карбидообразующее влияние элемента зависит от электронного строения его атома, а следовательно, и от расположения элемента относительно железа в периодической системе.

Углерод и кремний являются графитизирующими элементами и оказывают решающее влияние на структуру и свойства нелегированного чугуна. Из тройной диаграммы состояния Fe—C—Si (рис. 72) следует, что кремний передвигает эвтектическую и эвтектоидную точки влево и вверх, т. е. в сторону уменьшения содержания углерода в жидком и твердом растворах, и повышает температуру превращений. Таким образом, кремний, уменьшая растворимость углерода в жидком и твердом растворах, способствует графитообразованию.

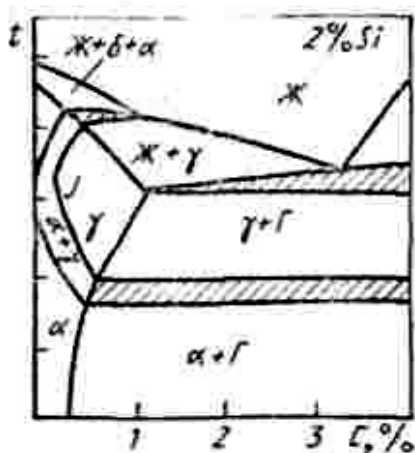


Рис. 72. Вертикальный разрез стабильной тройной диаграммы состояния Fe—C—Si при 2 % Si

Каждый процент кремния снижает содержание углерода в эвтектике примерно на 0,3 %; для чугуна можно принять

$$C^o = 4,26 - 0,3Si,$$

где C^o — содержание углерода в эвтектике; Si — содержание кремния в чугуне.

Поэтому степень эвтектичности чугуна определяют по формуле

$$S_C = C / (4,26 - 0,3Si),$$

где C — содержание углерода в рассматриваемом чугуне.

Степень эвтектичности можно также оценить разностью S'_C содержания углерода в эвтектике и чугуне:

$$S'_C = (4,26 - 0,3Si) - C = 4,26 - (C + 0,3Si).$$

Величину $(C + 0,3Si)$ называют *углеродным эквивалентом* C_0 . При $C + 0,3Si = 4,26$ $S'_C = 0$. Чугун, для которого $S_C = 1$ или $S'_C = 0$, является эвтектическим.

Для характеристики влияния углерода и кремния на структуру чугуна предложены структурные диаграммы, одна из которых приведена на рис. 73. Поле диаграммы разделено на пять областей, соответствующих чугунам с определенной структурой:

- I* — белый чугун ($\Pi + \text{Ц}$);
IIa — половинчатый чугун ($\Pi + \text{Ц} + \Gamma$);
II —серый перлитный чугун ($\Pi + \Gamma$);
IIб — серый перлитно-ферритный чугун ($\Pi + \Phi + \Gamma$);
III — серый ферритный чугун ($\Phi + \Gamma$).

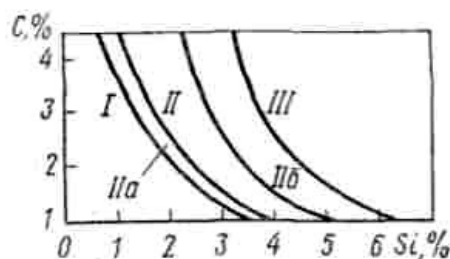


Рис. 73. Структурная диаграмма Н.Г. Гиршовича для чугуна

Из диаграммы следует, что регулированием содержания углерода и кремния в чугуне можно получить всю гамму структур чугуна — от белого до серого ферритного. Диаграмма построена для случая, когда другие факторы влияющие на структуру чугуна, поддерживаются постоянными.

Углерод и кремний влияют на структуру чугуна, воздействуя и на дисперсность структурных составляющих.

Результаты экспериментальных исследований (рис. 74) показывают, что повышение углеродного эквивалента C_e , увеличивает количество графита Γ и снижает количество перлита Π и одновременно способствует увеличению длины графитовых включений l_Γ , а также уменьшению дисперсности перлита (увеличению расстояния между пластинами цементита в перлите Π_d). Следовательно, снижение содержания углерода и кремния обеспечивает повышение прочности чугуна за счет уменьшения количества ферритной составляющей, повышения дисперсности перлита, уменьшения содержания и размельчения графита. Но уменьшить содержание углерода и кремния можно только до определенного предела, обусловленного появлением структурно свободного цементита и связанным с этим снижением механических свойств, повышением твердости и ухудшением обрабатываемости.

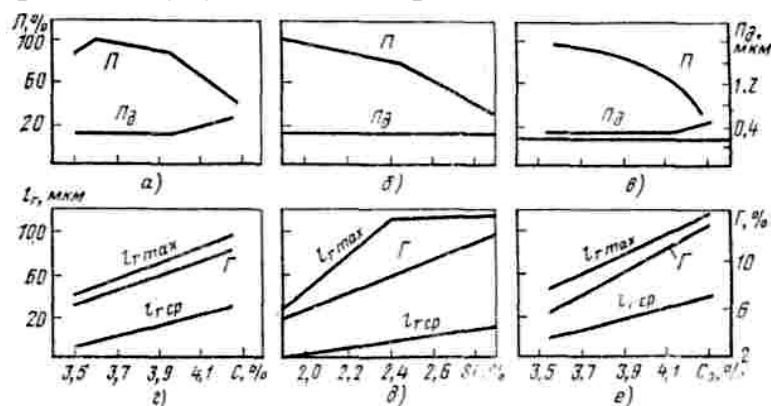
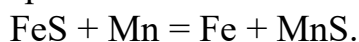


Рис. 74. Влияние C , Si и углеродного эквивалента C_e на графитизацию и структуру металлической основы чугуна

Марганец и сера — это элементы, тормозящие графитизацию. Вместе с тем они имеют большое химическое сродство, взаимодействуют с образованием в чугунах сульфидов марганца; при этом их влияние частично нейтрализуется:



Марганец, не связанный с серой, находится в растворе, распределяясь в определенном соотношении между цементитом и аустенитом (ферритом). Марганец снижает температуру $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения, расширяет область γ -раствора и способствует стабилизации и повышению дисперсности перлита. Благодаря этому повышение содержания марганца до 1,5 % положительно влияет на механические свойства серого чугуна. Карбидизирующее действие марганца заметно сказывается только при относительно высоком его содержании.

Сера, присутствующая в виде сульфидов, богатых железом, или в составе тройной эвтектики, сильно тормозит графитизацию. При этом существенно снижаются механические свойства из-за образования на границах зерен хрупкой эвтектики, а также ухудшаются литейные свойства чугуна. Нейтрализация этого отрицательного влияния серы на графитизацию и свойства чугуна достигается за счет взаимодействия FeS и Mn. При соотношении $\text{Mn/S} = 4 \div 5$ сера в основном находится в виде сульфидов марганца, не влияющих на графитизацию.

Фосфор, подобно кремнию, уменьшает растворимость углерода в жидком чугунах и сдвигает эвтектическую точку влево. Но в отличие от кремния фосфор снижает температуру эвтектического превращения. Фосфор отличается ограниченной растворимостью в твердом чугуне и большой склонностью к ликвации. Это предопределяет выделение избыточного количества фосфора в виде самостоятельной составляющей — тройной фосфидной эвтектики Fe_3P — Fe_3C —Fe, плавящейся при 953 °С. На графитизацию фосфор оказывает незначительное влияние. Увеличение содержания фосфора, благодаря легированию феррита, вначале способствует повышению механических свойств, затем вследствие выделения фосфидной эвтектики в виде крупных включений или сетки по границам зерен снижает прочность. Критическое содержание фосфора зависит от типа чугуна, содержания других элементов и составляет 0,3—0,8 %.

Из газов в чугунах чаще всего встречаются азот, водород и кислород, а также различные их соединения.

Растворимость азота в жидком чугуне зависит от температуры, при повышении которой содержание растворенного азота увеличивается. Растворимость также зависит от химического состава. В чугунах ваграночной плавки после затвердевания содержание азота удовлетворительно описывается уравнением

$$[\text{N}] = 0,089^e - 0,728\text{C}_\Sigma.$$

В зависимости от формы состояния азот оказывает различное воздействие на структурообразование и свойства чугуна. Так, при образовании фаз внедрения он повышает стабильность карбидов и способствует повышению прочности и твердости чугуна. Это влияние может быть использовано на практике при получении высококачественного чугуна. Азот, входящий в нитриды различных элементов, может изменять характер графитизации сплава. Введение азота в чугун, содержащий бор или титан в количестве, соответствующем образованию нитридов, способствует графитизации за счет подавления карбидизирующего влияния этих элементов и, возможно, зародышевого действия образующихся нитридов на кристаллизацию графита.

На растворимость водорода в чугуне влияют температура, химический состав чугуна, условия его выплавки. При этом существенно изменяются и формы состояния водорода в чугуне. Нужно учитывать, что наибольшее количество (80 %) приходится на его диффузионно-подвижную форму. Остаточное содержание мало-диффузионных форм составляет в 0,1 кг серого чугуна ваграночной плавки до 30 см³. В чугунных отливках водород распределяется неравномерно, и его ликвация может проявляться чаще и резче, чем других элементов. В связи с существенной разницей в соотношении различных форм водорода в чугуне встречаются противоречия в оценке его влияния на свойства жидкого и твердого чугунов. Водород может способствовать увеличению стабильности карбидов и склонности чугуна к отбеливанию, выделению аномальных форм графита и повышению дисперсности перлита.

Кислород, как в жидком, так и в твердом чугуне может находиться в разных состояниях — в основном в виде простых или сложных оксидных включений, а также в растворе. Общее количество, а также форма состояния кислорода предопределяются химическим составом чугуна, условиями плавки, внепечной обработки, заливки и т. п. Растворенный в расплавленном чугуне кислород может способствовать дезактивации части центров графитизации и приводить к повышению отбеливаемости. Наряду с этим увеличение количества и дисперсности оксидных включений сопровождается развитием процесса графитизации. Так, при модифицировании чугуна ферросилицием повышается содержание кислорода, сопровождающееся увеличением количества оксидов, служащих центрами кристаллизации графита. Это приводит к значительному уменьшению склонности чугуна к отбеливанию. При содержании азота или водорода в металле сверх равновесного значения в отливках возможно образование пористости, которая обычно концентрируется у поверхности.

Для повышения прочности чугуна, а также получения чугунов со специальными свойствами проводят их легирование различными элементами. Чаще всего для этой цели применяют хром, никель, молибден, медь, алюминий, титан, ванадий. Влияние этих элементов на кристаллизацию и структуру чугуна различно и во многом зависит от характера их распределения между структурными составляющими чугуна, а также их воздействия на положение основных критических точек диаграммы Fe—C.

Все легирующие элементы можно подразделить на три группы. К первой относятся элементы (Ni, Cu и др.), которые в основном образуют растворы с ферритом (аустенитом). Эти элементы понижают растворимость углерода в жидком и твердом растворе, а также содержание углерода в эвтектике и эвтектоиде, повышают эвтектическую температуру, одновременно снижая эвтектоидную. Это обуславливает графитизирующее влияние элементов. Действие их на эвтектическую кристаллизацию аналогично кремнию. В то же время никель, способствуя графитизации структурно свободных карбидов, тем самым стабилизирует перлит и способствует повышению его дисперсности. Аналогично, но в более слабой степени влияет на графитизацию медь.

Ко второй группе относятся элементы (Cr, Mo, V и др.), образующие растворы замещения преимущественно с цементитом, например $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ — $(\text{Fe}, \text{Mo})_3\text{C}$ — $(\text{Fe}, \text{V})_3\text{C}$. При превышении определенной концентрации эти элементы образуют специальные фазы—карбиды (например, Cr_7C_3 и V_4C_3) и тем самым тормозят графитизацию и вызывают размельчение графитовых включений.

Элементы третьей группы (Ti, Zr и др.) вследствие высокой химической активности практически целиком расходуются на образование карбидов, нитридов, оксидов и только в небольшом количестве растворяются в феррите и цементите. Тугоплавкие включения, образующиеся еще в жидком расплаве, могут служить центрами кристаллизации графита. Поэтому титан, являющийся карбидообразующим элементом, в то же время способствует графитизации и размельчению графитовых включений.

Все указанные элементы в процессе вторичной кристаллизации тормозят распад аустенита. При этом повышается степень переохлаждения при эвтектоидном превращении, что приводит к получению более дисперсного перлита, даже при относительно медленном охлаждении отливки. Такие элементы, как никель, медь и марганец, расширяющие область γ -раствора и понижающие температуру мартенситного превращения, способствуют получению аустенитной структуры.

Легирующие элементы, воздействуя на кристаллизацию чугуна, обеспечивают повышение механических свойств. Особенно сильно влияние молибдена, ванадия, хрома, обуславливающее размельчение графитовых включений и упрочнение металлической матрицы. Никель и медь увеличивают прочность в меньшей степени. Их положительная роль связана только с повышением количества и дисперсности перлита и выравниванием свойств в тонких и толстых сечениях отливки.

Ковшовое легирование. Введение легирующих элементов в чугун, находящийся в ковше, позволяет снижать потери элементов в результате окисления и регулировать свойства чугуна после выдачи его из печи. Ковшовым легированием можно получить широкий диапазон марок чугунов, обладающих различными свойствами, но выплавленных на единой шихте.

Полнота растворения легирующих добавок зависит от температуры чугуна при выпуске из печи, а также от усвояемости вводимых материалов, которая

определяется их составом и размером кусков. В некоторых случаях для повышения эффективности процесса растворения используют встряхивающие стенды или продувку газом чугуна в ковше.

Влияние скорости охлаждения. Скорость охлаждения отливки зависит от ряда факторов. В первую очередь, к ним относятся приведенная толщина отливки R , коэффициент теплоаккумулирующей способности формы b_{ϕ} , температура заливки. Независимо от того, под влиянием каких факторов изменилась скорость охлаждения, ее повышение увеличивает переохлаждение и повышает дисперсность структурных составляющих. В зависимости от химического состава и жидкого состояния чугуна, при известной степени переохлаждения, эвтектическая кристаллизация может частично или полностью проходить по метастабильной системе. Скорость охлаждения в интервале эвтектоидного превращения определяет соотношение феррита и перлита, а также степень дисперсности последнего.

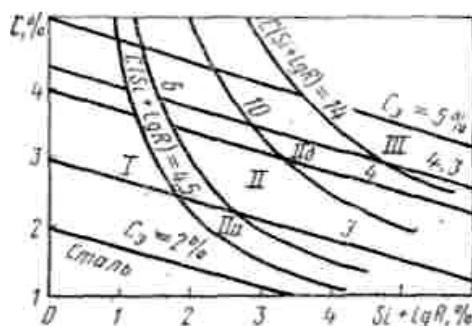


Рис. 75. Структурная диаграмма, построенная с учетом состава чугуна и приведенной толщины стенки отливки

Таблица 12

Толщина стенки отливки, мм	Средняя скорость охлаждения в форме до 950 °С, °С/ч	Временное сопротивление, МПа	Твердость <i>HB</i>
14	350	310—335	229
32	190	285—300	202
85	100	230—260	187

Как следует из табл. 12, различные сечения отливки имеют различные механические свойства, что может быть выражено следующей показательной функцией:

$$\sigma_{D_1} / \sigma_{D_2} = (D_2 / D_1)^m$$

где σ_{D_1} и σ_{D_2} — механические свойства брусков диаметрами соответственно D_1 и D_2 ; m — коэффициент однородности.

Чем больше значение m , тем больше отличаются свойства в различных сечениях отливки.

Влияние состояния расплава. Наряду с химическим составом чугуна и скоростью его- охлаждения на кристаллизацию чугуна влияют физические свойства жидкого расплава (вязкость, поверхностное и межфазное натяжение), а также наличие различных включений. Этот комплекс, характеризующий жидкое состояние чугуна, зависит от факторов, к которым относятся перегрев, выдержка жидкого чугуна при температуре перегрева и модифицирование.

Перегрев и выдержка. Экспериментально установлено, что повышение температуры перегрева жидкого чугуна более 1500 °С способствует увеличению количества связанного углерода. Так же действует выдержка чугуна в жидком состоянии.

Установлено также, что повышение температуры перегрева приводит к размельчению графитовых включений. При этом проявляется тенденция к кристаллизации мелкого точечного графита с междендритным расположением. Тенденция проявляется тем сильнее, чем меньше содержание углерода в чугуне. В результате перегрев жидкого чугуна в определенном интервале температур способствует повышению механических свойств. Но такое благоприятное влияние сказывается только до критических температур, при превышении которых механические свойства начинают падать из-за образования междендритного графита. Эта критическая температура для различных чугунов различна. Она зависит от ряда факторов, основным из которых является содержание углерода.

Чем выше содержание углерода в чугуне, тем до более высоких температур допустим перегрев его без образования междендритного графита. Таким образом, перегрев до определенных пределов является одним из действенных методов повышения прочности чугуна.

Модифицирование. Механизм воздействия модификаторов на процесс кристаллизации чугуна различен. Одна группа модификаторов воздействует на

условия роста графита и способствует его кристаллизации в виде компактных или шаровидных включений. Другая группа обеспечивает образование дополнительных вынужденных зародышей и, таким образом, изменяет степень графитизации. При графитизирующем модифицировании уменьшается степень переохлаждения, измельчается эвтектическое зерно и обеспечивается получение однородной структуры с мелкопластинчатым графитом в сечениях отливки различной толщины. По сравнению с обычным чугуном модифицированный чугун такого же химического состава в меньшей степени склонен к отбеливанию и образованию междендритного точечного графита. Именно на этом основано использование модифицирования для получения чугунов с высокими механическими свойствами.

В качестве графитизирующего модификатора наибольшее распространение получил 75 %-ный ферросилиций, эффективность которого значительно усиливается при содержании в нем 1—2 % Al и Ca. Еще более сильное графитизирующее действие оказывают комплексные модификаторы на основе ферросилиция, содержащие небольшое количество Sr, Ba, Zr и некоторых других химически = активных элементов в различных сочетаниях.

Существуют различные теории, объясняющие механизм действия комплексных модификаторов. В соответствии с одной из них введение кремния в жидкий чугун вызывает развитие гетерогенности и повышение активности углерода в локальных объемах расплава. В этих условиях значительно облегчается процесс активации графитовыми комплексами неметаллических включений, образованных Al, Ca, Ba, Sr и другими элементами, содержащимися в модификаторе, и их взаимная коагуляция,

Существуют и другие составы комплексных модификаторов, например, содержащие силициды редкоземельных металлов или механическую смесь FeSi, CaSi, SiC и графита. Выбор того или иного состава определяется характером технологического процесса и требованиями к отливкам.

Таким образом, уменьшение содержания углерода и кремния, перегрев чугуна ($t_{\text{пер}}$), повышение скорости охлаждения ($v_{\text{охл}}$) до определенного предельного значения способствует улучшению механических свойств чугуна. Этот предел обусловлен выделением структурно свободного цемента и междендритного графита, приводящих к снижению механических свойств (рис. 76, кривая 1). Графитизирующее модифицирование позволяет использовать положительное влияние указанных факторов в более широком интервале без отбеливания или появления междендритного графита. При этом допустимое значение этих факторов сдвигается вправо, а максимум механических свойств достигает более высоких значений (кривая 2).

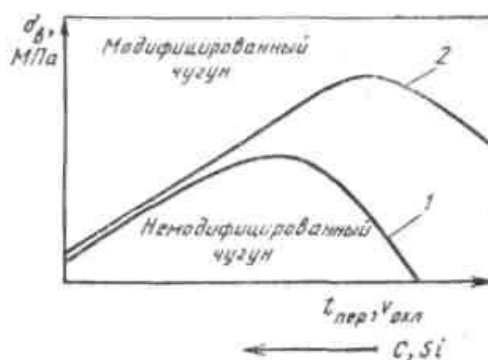


Рис. 76. Влияние состава и технологических факторов на механические свойства чугуна

Термическая обработка. В зависимости от температуры и методов нагрева отливок, выдержки и условий их охлаждения термическая обработка может обеспечивать снятие остаточных напряжений, графитизацию или повышение твердости и механических свойств.

Снятие остаточных напряжений. Для этой цели применяют низкотемпературный отжиг при 550—650 °С. Структура и в большинстве случаев механические свойства не изменяются. После кратковременной выдержки (3—4 ч) при этих температурах отливки медленно охлаждаются вместе с печью со скоростью 8—30 °С/ч до 100—150 °С. Чем меньше скорость охлаждения, тем полнее снятие остаточных напряжений.

Графитизирующий отжиг. Цель этого отжига — стабилизация структуры, т. е. разложение структурно свободного цементита или цементита в перлите (ферритизация). На практике применяют одностадийный или двухстадийный отжиг при температурах надкритической или подкритической области. Для снижения твердости и улучшения обрабатываемости серого чугуна применяют одностадийный отжиг. При этом частично или полностью разлагается перлит и снижаются механические свойства серого чугуна. Для разложения структурно свободного цементита применяют отжиг при температурах выше критических, продолжительность выдержки зависит от количества подлежащего разложению цементита.

Такой отжиг является основой технологического процесса получения ковкого чугуна из белого. Для получения ковкого чугуна с ферритной основой применяют двухстадийный отжиг с выдержкой при температурах надкритической области (разложение структурно свободного цементита) и с последующей выдержкой при температурах подкритической области или с медленным охлаждением в области критических температур (разложение перлита).

Нормализация, закалка, отпуск. Нормализация и закалка чугуна способствуют повышению его твердости (при этом возрастает износостойкость) и механических свойств. Отливки нагревают до температур выше критических и после выдержки охлаждают с большей или меньшей скоростью. При нормализации охлаждение проводят вне печи — на воздухе. При закалке отливки погружают в охлаждающую жидкость (воду, масло и др.).

При нормализации нагрев осуществляют до 900—1000 °С и выдерживают в течение времени, обеспечивающего частичное растворение графита и насыщение аустенита углеродом. Более богатый углеродом аустенит при относительно быстром охлаждении и температурах эвтектоидного превращения распадается без выделения феррита. В этом случае получают более дисперсные перлитоподобные структуры, что вызывает повышение твердости и механических свойств.

При закалке быстрое охлаждение из области аустенитного состояния способствует получению неравновесных структур, свойственных железоуглеродистым сплавам (мартенситу, трооститу). Как правило, после закалки проводят отпуск при температуре 200—500 °С, что уменьшает закалочные напряжения в отливке и изменяет структуру, например, мартенсит переходит в троостит или сорбит. В зависимости от температуры отпуска повышаются механические свойства, и снижается твердость.

В результате термической обработки чугуна видоизменяется только основная металлическая матрица. Форма графита остается неизменной, и может лишь несколько уменьшиться его количество. Поэтому наибольший эффект достигается при закалке чугуна с перлитной матрицей и мелкопластинчатым графитом или графитом шаровидной формы.

Поверхностная закалка. Вследствие низкой пластичности чугуна при объемной закалке в отливках могут образовываться трещины. В связи с этим прибегают к поверхностной закалке чугунных деталей, работающих на износ, например, поверхностей трения станин металлорежущих станков. Нагрев газовыми горелками или токами высокой частоты с последующим водоструйным охлаждением способствует получению закаленного слоя глубиной 1,5—4 мм.

Изотермическая закалка. При закалке в соляную ванну или другую жидкую закалочную среду при температуре 300—400 °С с последующей выдержкой чугун приобретает бейнитную структуру. Это обеспечивает высокие механические свойства и износостойкость, причем вследствие сравнительно низкого уровня напряжений опасность образования трещин и короблений снижается. Такая же структура и еще более высокие свойства могут быть получены и без термической обработки путем комплексного легирования чугуна молибденом и никелем.

Литейные свойства. Чугун отличается сравнительно высокими литейными свойствами, что обусловлено его химическим составом, низкой температурой начала кристаллизации, а также графитизацией.

Жидкотекучесть большинства сплавов зависит от положения на диаграмме состояния, и она тем выше, чем меньше интервал затвердения. Чугун характеризуется аномальным характером жидкотекучести, которая при увеличении содержания углерода и кремния повышается, но достигает максимума не при эвтектическом ($C_3 = 4,3$), а при заэвтектическом составе ($C_3 = 4,7 \div 4,9$). Это связано со способностью заэвтектических чугунов сохранять текучесть в определенном интервале температур ниже ликвидуса, поскольку кристаллизация первичного графита сопровождается значительным тепловым

эффектом. Заметный рост жидкотекучести наблюдается также при повышении содержания фосфора в сплаве.

Усадка. Характер усадки серого чугуна в значительной степени определяется процессом графитизации. Уменьшение объема чугуна при охлаждении в жидком состоянии практически постоянно. В период затвердевания усадка связана с изменением агрегатного состояния и особенно с графитизацией.

Объем белого чугуна уменьшается всегда. В сером чугуне вследствие выделения графита из жидкой фазы в заэвтектических чугунах и при эвтектической кристаллизации происходит расширение, компенсирующее усадку тем полнее, чем больше образуется графита. На рис. 77 показан случай, когда в процессе затвердевания серого чугуна заэвтектического состава происходит отрицательная усадка, т. е. объемное расширение. Величина объемной усадки при затвердевании белого чугуна составляет 4—5 %, серого — (—1,5) — 3 %.

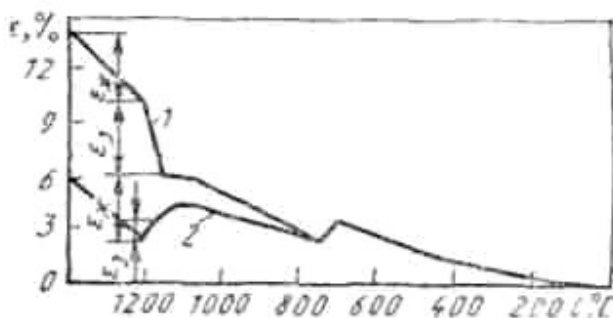


Рис. 77. Объемная усадка ϵ белого (1) и серого (2) чугунов при охлаждении ($\epsilon_{\text{ж}}$ — усадка в жидком состоянии; $\epsilon_{\text{з}}$ — усадка при затвердевании)

При охлаждении чугуна в твердом состоянии изменение объема (линейная усадка) определяется двумя процессами: выделением графита в связи с уменьшением его растворимости в аустените и термическим сжатием матрицы сплава. Именно с графитизацией связано предусадное расширение. Послеперлитная линейная усадка серого и белого чугунов одинакова и составляет 0,9—1,1 %, тогда как доперлитная усадка серого чугуна (0—0,3 %) значительно меньше, чем белого чугуна (0,7—1%).

Особенности протекания усадочных процессов в сером чугуне и относительно малая усадка при кристаллизации и в твердом состоянии существенно облегчают задачу получения качественных отливок. В отливках из серого чугуна реже, чем в стальных или в отливках из белого чугуна, образуются усадочные раковины, трещины и т. д. Это позволяет изготавливать отливки из серого чугуна часто без применения прирублей.

4. ОТЛИВКИ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

Из конструкционных чугунов изготавливают 80 % всех производимых чугунных отливок. Основными потребителями являются различные отрасли

машиностроения (автомобильное, тракторное и сельскохозяйственное машиностроение, тяжелое машиностроение, станкостроение и др.). Наиболее распространенные марки чугуна приведены в табл. 13. Согласно ГОСТу, механические свойства чугунов определяются по результатам испытаний на растяжение образцов, вырезанных из отдельно залитых цилиндрических брусков диаметром 30 мм.

Таблица 13

Механические свойства серого чугуна ГОСТ 1412

Чугун	Предел прочности, МПа, не менее		Твердость <i>HB</i>
	при растяжении	при изгибе	
СЧ 15	147	314	163—229
СЧ 20	196	392	170—241
СЧ 25	245	451	180—250
СЧ 35	343	539	197—2С9

Вследствие чувствительности чугуна к изменению скорости охлаждения прочность в различных узлах отливки может отличаться от прочности, характеризующей данную марку (рис. 78). Конструктор выбирает марку чугуна, исходя из требуемых механических свойств в наиболее нагруженных сечениях отливки.

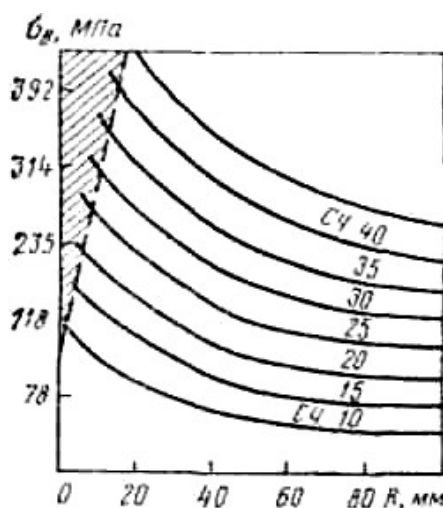


Рис. 78. Влияние толщины стенки отливки, охлаждавшейся в песчаной форме, на механические свойства чугуна. Зона отбела заштрихована

Литейщик должен выбирать состав чугуна и технологический процесс его получения с учетом влияния различных факторов на структуру чугуна и его механические свойства. При получении чугунов повышенной прочности (СЧ 25, СЧ 30, СЧ 35, СЧ 40), а также в тех случаях, когда техническими условиями предусматриваются дополнительные требования, технология может оказаться сложной. Например, отливки, подвергающиеся в процессе эксплуатации

повышенному износу (отливки металлорежущих станков, детали двигателей и т. п.), требуют повышенной твердости рабочих поверхностей и определенной микроструктуры чугуна (дисперсности перлита, размеров и расположения графитовых включений и т. д.).

При производстве чугунов высоких марок используют модифицирование, легирование и термообработку.

Модифицированный чугун. В качестве графитизирующего модификатора используется ферросилиций ФС75Л (74—80 Si), комплексные сплавы на основе кремния, содержащие Ca, Mg, Sr, Zr, Ba, РЗМ, Mn, а также модифицирующие смеси, состоящие из силикокальция, графита, ферросилиция и других компонентов.

Модификатор в виде кусков размером 1—5 мм вводят в струю чугуна при сливе из печи в ковш. Для конкретных условий производства устанавливают оптимальный интервал времени от момента заполнения ковша до заливки форм, так как при превышении этого времени действие модификатора постепенно исчезает.

В табл. 14 приведены технологические варианты получения модифицированных чугунов повышенной прочности. Из табличных данных следует, что по мере повышения требований к механическим свойствам содержание углерода в чугуне должно снижаться, марганца повышаться, его перегрев увеличиваться. Одновременно должно увеличиваться количество модифицирующих добавок для предотвращения отбеливания чугуна и выделения междендритного графита.

Эффективность модифицирования может быть повышена при введении добавок непосредственно в процессе заливки формы. Практически это реализуется путем размещения модификатора в одном из элементов литниковой системы формы или с помощью проволоки из прессованного порошкообразного модификатора, которая с заданной скоростью вводится в струю металла у литниковой чаши формы.

Высокие механические свойства модифицированного чугуна достигаются благодаря снижению расчетного содержания углерода и кремния, высокому перегреву чугуна в сочетании с модифицированием и повышением содержания марганца.

Эффективным и широко используемым методом улучшения структуры и повышения механических свойств чугуна является применение в шихте стального лома. В модифицированном чугуне высших марок доля стального лома составляет 50—70 %. При сравнении чугунов одинакового химического состава было установлено, что чугуны, выплавленные на шихте со стальным ломом, имеют более мелкий графит и повышенные механические свойства. Положительное влияние присадки стали проявляется и в том, что снижается содержание углерода в шихте, а следовательно, и в выплавленном чугуне. Хотя модифицирование чугуна и уменьшает его склонность к отбеливанию, однако

для каждой марки указаны минимальные толщины стенки отливки, получаемые без структурно свободного цементита.

Таблица 14

Технологические варианты получения модифицированного чугуна повышенной прочности

Вариант	Массовая доля, %, элементов в чугуне *				Углеродный эквивалент
	C	Si		Mn	
		До модифицирования	После модифицирования		
I	2,8—3	0,8—0,9	1,3—1,5	1,4—1,6	3,3
II	2,9-3,1	0,9—1	1,3—1,5	1,2—1,4	3,45
III	3—3,4	1,1—1,2	1,4—1,6	1—1,2	3,55
IV	3,1-3,3	1,3—1,4	1,5-1,7	0,8—1	3,7
V	3,2—3,4	1,5—1,6	1,7—1,9	0,8—1	3,8
Вариант	Присадка стального лома, %	Температура чугуна при выпуске из печи, °C, не ниже	Количество ферросилиция, %	Марка чугуна	Минимальная толщина стенки отливки без отбела, мм
I	60—70	1450—1460	0,8—1	СЧ 40	23
II	45—55	1440—1450	0,6—1	СЧ 35	19
III	35—40	1420—1430	0,4—0,6	СЧ 30	15
IV	20—25	1410—1420	0,3—0,5	СЧ 25	13
V	15	1400	0,1—0,3	СЧ 20	10

* Содержание серы до 0,18 %. фосфора до 0,3 %.

Легированный чугун. В качестве конструкционного материала применяют низколегированный чугун (общее содержание легирующих элементов до 3 %). Для легирования используют в основном Cr, Mn (при содержании свыше 1 %) Ni, Mo, Cu, V, Ti.

Все эти элементы (за исключением Ti) препятствуют выделению феррита и повышают дисперсность перлита. Наиболее интенсивно повышают механические свойства (рис. 79, а) элементы, измельчающие графит (V, Mo, Cr).

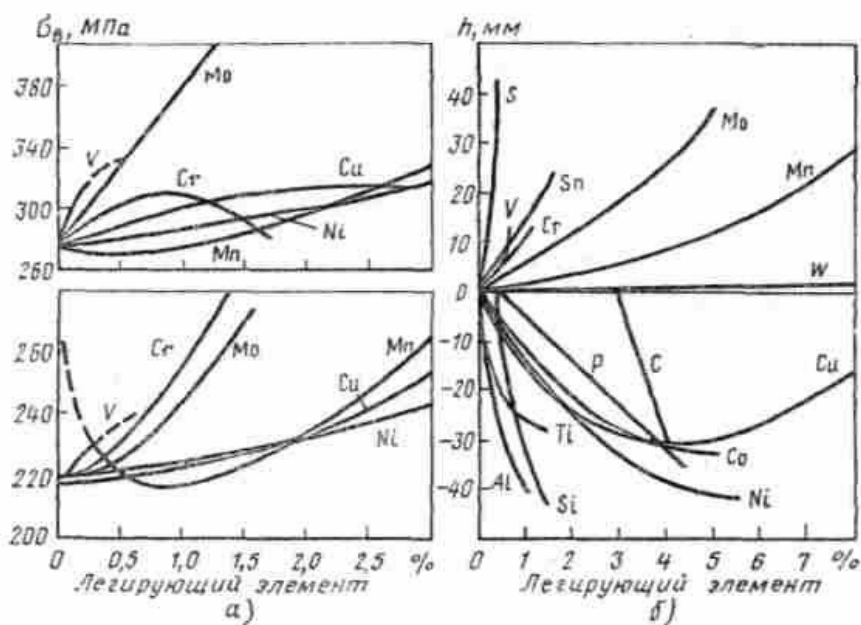


Рис. 79. Влияние легирующих элементов на механические свойства (а) и глубину отбела h (б) серого чугуна следующего состава, %: 3,24 C, 1,88 Si, 0,71 Mn, 0,17 P, 0,09 S

Элементы, способствующие графитизации (Ni, Cu, Ti), предотвращают отбеливание чугуна в тонких сечениях отливки, а элементы, тормозящие графитизацию (V, Cr, Mn, Mo), увеличивают склонность к отбеливанию (рис. 79, б). Склонность чугуна к отбеливанию приблизительно характеризуется константой графитизации

$$K_r = C [\text{Si} - 0,2 (\text{Mn} - 1,75\text{S} - 0,3) + 0,1\text{P} + 0,4\text{Ni} - 1,2\text{Cr} + 0,2\text{Cu} + 0,4\text{Ti} - 0,4\text{Mo} - 2\text{V}].$$

Интенсивность и характер влияния каждого элемента оценивают абсолютной величиной коэффициента и знаком перед ним. Сравнение значений K_r различных легированных и нелегированных чугунов облегчает выбор оптимального химического состава, исходя не только из желаемой структуры и прочности рабочих узлов, но и из условия получения легко обрабатываемого серого чугуна без отбела в тонких сечениях отливок.

К серому чугуну со специальными свойствами предъявляют особые требования, связанные с условиями эксплуатации отливок. В некоторых случаях эти требования могут удовлетворить нелегированные или низколегированные чугуны. Так, повышенные эксплуатационные свойства антифрикционного чугуна для подшипников, втулок и других деталей обеспечиваются малым легированием Cr, Ni, Cu, Ti, Sb, Mn и др.

Немагнитные отливки, применяемые в электромашиностроении, имеют аустенитную структуру и изготавливаются из высоколегированного чугуна. Получение заданной структуры достигается легированием 14—33 % Ni и 2—8 % Cu и Cr. Вследствие дефицитности никеля его частично или полностью

заменяют марганцем, однако специальные, и механические свойства этих чугунов ниже.

Отливки из коррозионно-стойкого чугуна применяют в основном в химическом аппаратостроении. Коррозионную стойкость можно оценить массой металла (в граммах), превращенного в продукт коррозии за единицу времени (1 ч) с единицы поверхности (1 м²) при действии внешней агрессивной (коррозионной) среды (азотной, серной, фосфорной кислот, соли, щелочи и др.). В зависимости от эксплуатационных условий используют аустенитные чугуны, легированные 15—40 % Ni в сочетании с Cu и Cr.

Особое место занимают высококремнистые сплавы типа ферросилида. Благодаря высокому содержанию кремния (14—16 %) их можно отнести к чугунам со степенью эвтектичности, близкой к единице.

Из износостойких чугунов, используемых главным образом в автотракторной промышленности, изготавливают литые детали, работающие в узлах трения. Комплексное легирование Cr, Ni, Mo, V, Cu, B, P обеспечивает получение средне- и крупнопластинчатого графита, прочной дисперсной перлитной матрицы и структурно свободных карбидов в виде отдельных равномерно распределенных включений или разорванной сетки, располагающейся по границам эвтектических зерен.

5.ОТЛИВКИ ИЗ КОВКОГО ЧУГУНА

Ковкий чугун является конструкционным материалом, используемым для изготовления мелких тонкостенных отливок для сельскохозяйственных машин, автомобилей, тракторов, арматуры, фитингов и других деталей массового производства (табл. 15). Благодаря компактной форме графита (углероду отжига) чугун отличается высокими механическими свойствами и пластичностью, занимая в этом отношении промежуточное положение между серым чугуном и сталью.

Таблица 15

Механические свойства ковкого чугуна ГОСТ 1215

Марка	Временное сопротивление,	Относительное удлинение, %	Твердость <i>HB</i>
	Не менее		
КЧ 35-10	333	10	100—163
КЧ 50-5	490	5	170—230
КЧ 60-3	588	3	200—269
КЧ 80-1,5	784	1,5	270—320

Ферритный ковкий чугун обладает высокой пластичностью, сопротивлением ударным нагрузкам и однородностью механических свойств по сечению отливок. Второй особенностью ферритного ковкого чугуна является возможность одновременного повышения прочности и пластичности, тогда как в других железоуглеродистых сплавах повышение прочности всегда

сопровождается снижением пластичности. Это объясняется тем, что при уменьшении размера и повышении степени компактности графитовых включений снижается концентрация напряжений, что способствует повышению пластичности и одновременно положительно влияет на прочность.

Перлитный ковкий чугун обладает высокой прочностью и средней пластичностью, хорошими антифрикционными свойствами и высокой износостойкостью, которая значительно повышается при легировании.

Основной особенностью технологии является изготовление отливок из белого чугуна без включений пластинчатого графита, который ухудшает механические свойства. Увеличение толщины стенок и массы отливки значительно затрудняет получение чисто белого излома, поэтому область использования ковкого чугуна ограничивается тонкостенными (до 50 мм) отливками массой в несколько десятков килограммов.

Конечную структуру чугуна без структурно свободного цементита получают после отжига. В зависимости от химического состава чугуна и режима отжига можно получить ферритную, перлитную или перлитно-ферритную металлическую основу.

Различают два вида ковкого чугуна: черносердечный (темный бархатистый излом) и белосердечный (блестящий светлый излом). Целью отжига чугуна на черносердечный является разложение структурно свободных карбидов. Обезуглероживается только поверхностный слой толщиной до 0,5 мм, а содержание углерода в остальном сечении не изменяется. Это достигается применением нейтральной атмосферы.

При отжиге чугуна на белосердечный наряду с графитизацией преследуется еще одна цель — обезуглероживание. При этом снаружи имеется полностью обезуглероженный слой глубиной несколько миллиметров, затем содержание углерода постепенно повышается, но и в центре отливки оно не достигает исходного.

Отжиг белого чугуна на черносердечный ферритный чугун состоит из пяти этапов (рис. 80).

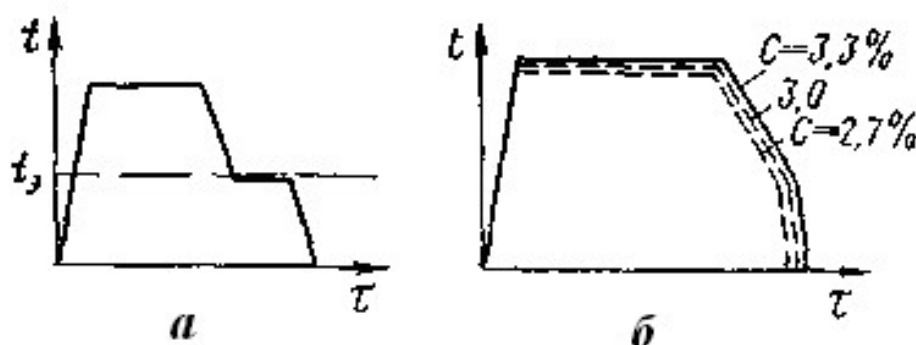


Рис. 80. Режимы отжига белого чугуна на ковкий черносердечный (а) и белосердечный (б) ($t_э$ — температура эвтектоидного превращения)

1. Нагрев чугуна с исходной структурой перлит + цементит до 900—1000 °С.

2. Выдержка при 900—1000 °С (первая стадия графитизации), во время которой происходит разложение структурно свободного цементита и насыщение аустенита углеродом до содержания, близкого к равновесному. В конце этого периода структура чугуна — аустенит + углерод отжига.

3. Охлаждение до температуры ниже эвтектоидной (690—700 °С), при которой часть углерода выделяется из твердого раствора, и происходит перлитное превращение. К концу этого периода структура чугуна — перлит + углерод отжига.

4. Выдержка при 690—700 °С (вторая стадия графитизации), во время которой происходит разложение эвтектоидного цементита. К концу выдержки структура чугуна — феррит + углерод отжига.

5. Охлаждение на воздухе.

Продолжительность выдержки при первой и второй стадиях графитизации зависит от скорости разложения цементита. Общий цикл отжига обычно составляет 50—60 ч.

При отжиге на черносердечный перлитный чугун исключается вторая стадия графитизации, относительно быстрое охлаждение в интервале критических температур позволяет зафиксировать перлитную металлическую основу. При отжиге на белосердечный ковкий чугун в интервале высоких температур идут параллельно два процесса — графитизация и обезуглероживание. Обезуглероживание обеспечивают отжигом отливок в контейнерах, которые после укладки отливок засыпают рудой. Процесс обезуглероживания идет через газовую фазу, передающую кислород от руды к углероду отливки. Углерод окисляется в основном на поверхности отливки. Содержание углерода по сечению отливки уменьшается за счет диффузии углерода твердого раствора от центра к периферии.

При проведении обезуглероживания режим отжига белосердечного чугуна (рис.80, б) отличается от режима отжига черносердечного чугуна высокой температурой (1000—1050 °С) и большей продолжительностью цикла (100—110 ч).

Повышенный расход топлива, связанный с длительным циклом отжига, и расход руды делают этот способ менее экономичным, чем способ получения черносердечного чугуна. Поэтому на отечественных заводах производят в основном отливки из черносердечного ковкого чугуна.

При отжиге на белосердечный чугун отливки укладывают в чугунные контейнеры (горшки) и пересыпают песком. Термические печи для отжига по характеру работы разделяют на непрерывные и периодические. В непрерывных печах туннельного типа длиной до 100 м и производительностью до 100 т отливок в сутки перемещаются тележки с контейнерами, нагруженными отливками. Печи имеют различные температурные зоны. В зависимости от требуемого режима отжига устанавливают температуру и длину каждой зоны, скорость перемещения тележки.

Для отжига чугуна на черносердечный получили распространение электрические печи элеваторного типа. Отливки загружают на вагонетку,

которая поднимается плунжером и вводится в печь для прохождения первой и второй стадии графитизации. Так как атмосфера в печи нейтральная, отливки загружают в вагонетку без контейнеров и паковочного материала. Цикл отжига сокращается до 30—40 ч.

Химический состав чугуна (табл. 16) зависит от требуемых механических свойств, толщины стенок отливки, типа плавильного агрегата, способа отжига и т. д. Содержание углерода и кремния в зависимости от толщины стенок и массы отливки выбирают таким, чтобы до отжига чугун имел белую структуру. При этом учитывают влияние элементов на продолжительность отжига и механические свойства чугуна.

Таблица 16

Массовая доля, %, химических элементов в ковком чугуне

Ковкий чугун	C	Si	Mn	S
Черносердечный ферритный	2,2—2,9	1,4—0,8	0,3—0,5	0,05—0,15
Черносердечный перлитный	2,2—2,9	1,4—0,8	0,3—1,0	0,05—0,15
Белосердечный	2,8—3,2	1,1—0,7	0,4—0,7	0,12—0,2

Примечания: 1. В белосердечном чугуне содержание углерода указано до отжига.

2. Содержание фосфора не более 0,2.

Механические свойства ковкого чугуна определяются общим содержанием в нем включений углерода отжига, поэтому для получения чугуна высших марок необходимо использовать низкоуглеродистый чугун (2,6—2,7 % C). Повышение содержания кремния уменьшает продолжительность первой и второй стадий графитизации, поэтому, принимая за основу содержание углерода, требуемое для получения чугуна заданной марки, назначают максимально допустимое содержание кремния, обеспечивающее структуру белого чугуна. Повышенное содержание марганца в перлитном чугуне замедляет графитизацию при эвтектоидном превращении и способствует получению сфероидального перлита и высоких механических свойств. Для повышения пластических свойств содержание фосфора должно быть снижено.

При производстве ферритного ковкого чугуна содержание хрома ограничивается 0,07 % вследствие его тормозящего влияния на графитизацию, особенно во второй стадии.

Широко применяют модифицирование чугуна алюминием (0,007—0,015 %), титаном (0,01—0,05 %), висмутом (до 0,003 %), теллуром (до 0,01 %), что сокращает цикл отжига и при некоторых условиях повышает механические свойства.

Для ускорения цикла отжига возможно также использование предварительной закалки или низкотемпературной обработки отливок при

300—450 °С в течение 3—5 ч, повышение температуры выдержки отливок на первой стадии до 1050 °С, повышение содержания кремния в чугуне.

6. ОТЛИВКИ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Высокопрочный чугун в литом состоянии получают при введении в жидкий металл таких элементов-модификаторов, как Mg, Ce, Y, Ca и др. Наибольшее практическое применение получил Mg. При его содержании в чугуне 0,03—0,05 % графит кристаллизуется в виде шаровидных включений (глобулей).

В определенных случаях для сфероидизации графита применяют редкоземельные металлы (РЗМ), например в виде добавок ферроцерия или Fe—Si — РЗМ-лигатур (25—40 % РЗМ). Эти лигатуры характеризуются простотой ввода в чугун, но вместе с тем высокой стоимостью и необходимостью иметь низкое содержание серы в исходном чугуне.

Получение шаровидной формы графита в высокопрочном чугуне практически не ограничивается толщиной стенки и массой отливки. Высокопрочный чугун широко применяют для деталей металлургического оборудования, коленчатых валов различных двигателей, деталей сельскохозяйственных машин и т. д.

В настоящее время доказана возможность и экономическая целесообразность замены ряда деталей, получаемых из стальных литых и кованных заготовок, чугунными отливками с шаровидным графитом (табл. 17).

Таблица 17

Механические свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом ГОСТ 7293

Марка чугуна	Временное сопротивление	Предел текучести	Относительное удлинение, %	Твердость <i>HB</i>
	МПа, не менее			
ВЧ 42-1	412	274	12	140—200
ВЧ 60-2	588	393	2	200—280
ВЧ 80-2	784	490	2	250—330
ВЧ 120-2	1177	882	2	302—380

Чугуны марок ВЧ 50-2, ВЧ 60-2 с преобладанием перлита в структуре металлической основы можно получать как в литом состоянии, так и в результате термической обработки. Цель термической обработки — разложение структурно свободного цементита в относительно тонких сечениях отливки (графитизирующий отжиг) или упрочнение перлитной матрицы (нормализация). Может быть использована комбинированная термическая обработка, преследующая разложение структурно свободного цементита с последующей нормализацией (графитизирующей нормализацией).

Чугуны ВЧ 38-17, ВЧ 42-12, ВЧ 45-5 с преобладанием феррита в структуре металлической основы получают графитизирующим отжигом для разложения структурно свободного и эвтектоидного цементита.

В отличие от чугуна с пластинчатым графитом, механические свойства чугуна с шаровидным графитом в большей степени определяются металлической основой и в меньшей — количеством, размерами и распределением графитовых включений. Поэтому ряд режимов термической обработки, используемых для повышения механических свойств стали, оказывается эффективным также и для высокопрочного чугуна. В производственных условиях получают перлитные чугуны с пределом прочности до 1177 МПа и ферритные чугуны с относительным удлинением до 17 %.

Основной операцией технологического процесса получения высокопрочного чугуна является введение магния в жидкий чугун. Магний—легкий металл, плотность которого $1,738 \cdot 10^{-3}$ кг/м³; температуры плавления и кипения соответственно 651 °С и 1107 °С. На воздухе магний легко воспламеняется. Введение чистого магния в жидкий чугун при атмосферном давлении сопровождается интенсивным выделением дыма, выплесками металла и пироэффектом, что вызывает необходимость проведения специальных мероприятий и использования специального оборудования, обеспечивающих высокую производительность, хорошее усвоение магния в расплаве и безопасность труда работающих. Существующие способы введения магния в чугун можно разделить на две группы: введение при повышенном давлении; введение при атмосферном давлении.

Первая группа способов основана на том, что металлический магний в чистом виде вводится в жидкий чугун, находящийся под повышенным давлением. Как известно, при увеличении давления температура кипения веществ повышается. Температура кипения магния повышается от 1107°С (при атмосферном давлении) до 1350 °С (при 0,6 МПа). В ковше чугун перегрет обычно до 1300—1350 °С, и примерно до этой же температуры нагревают магний. Следовательно, если давление над поверхностью жидкого металла 0,5—0,6 МПа, то магний будет растворяться в чугуне.

В камере (рис. 81) для модифицирования чугуна магнием (автоклаве) под давлением в ковшах емкостью до 15 т процесс проводится следующим образом. К рычагу 2 крепят контейнер 1 с заданной дозой магния. Устанавливают ковш 3 с чугуном и закрывают крышкой 4 камеру. Открывают вентиль в сети сжатого воздуха и давление в камере доводят до 0,6 МПа, после чего в ковш вводят контейнер с магнием. Растворение магния продолжается 6—10 мин. Всеми операциями управляют с пульта. Привод всех механизмов электрогидравлический.

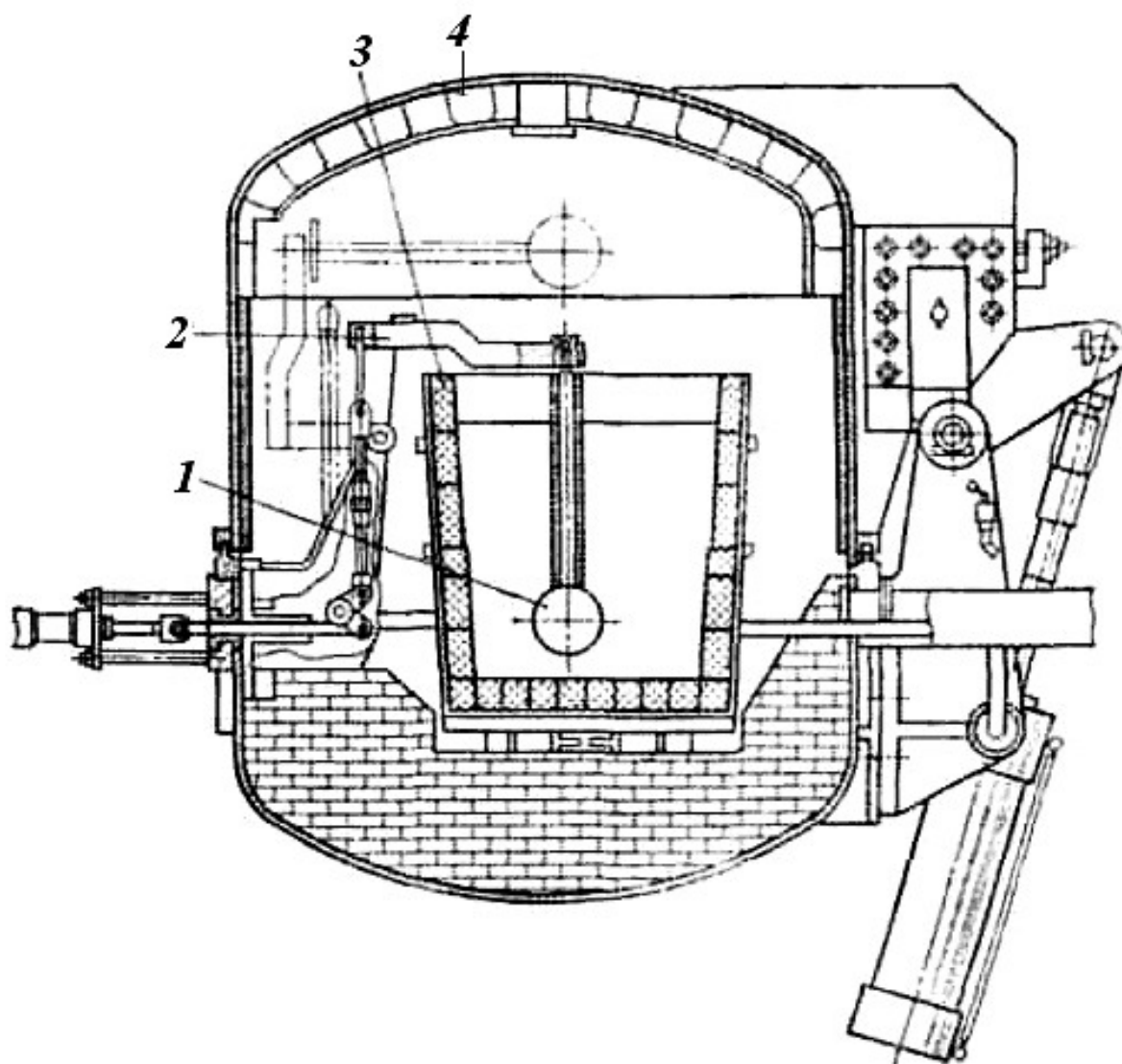


Рис 81. Автоклав для модифицирования чугуна магнием

Для ввода магния в чугун, находящийся под давлением, используют также специальные герметизированные ковши барабанного или конвертерного типа (рис. 82). Операция идет в такой последовательности. В зарядную камеру 1 закладывают необходимое количество магния и камеру закрывают крышкой 2. При положении ковша, показанном на рис. 82, он заполняется чугуном, крышка 3 закрывается и прижимается к ковшу затворами 4. Ковш поворачивается против часовой стрелки на 90° . Зарядная камера с магнием оказывается под металлом. Магний нагревается до температуры кипения, и пары магния создают повышенное давление в пространстве над уровнем металла. Когда давление достигнет 0,3—0,5 МПа, кипение полностью прекращается, и оставшаяся часть магния растворяется. Продолжительность операции в ковше емкостью 10 т 3—4 мин.

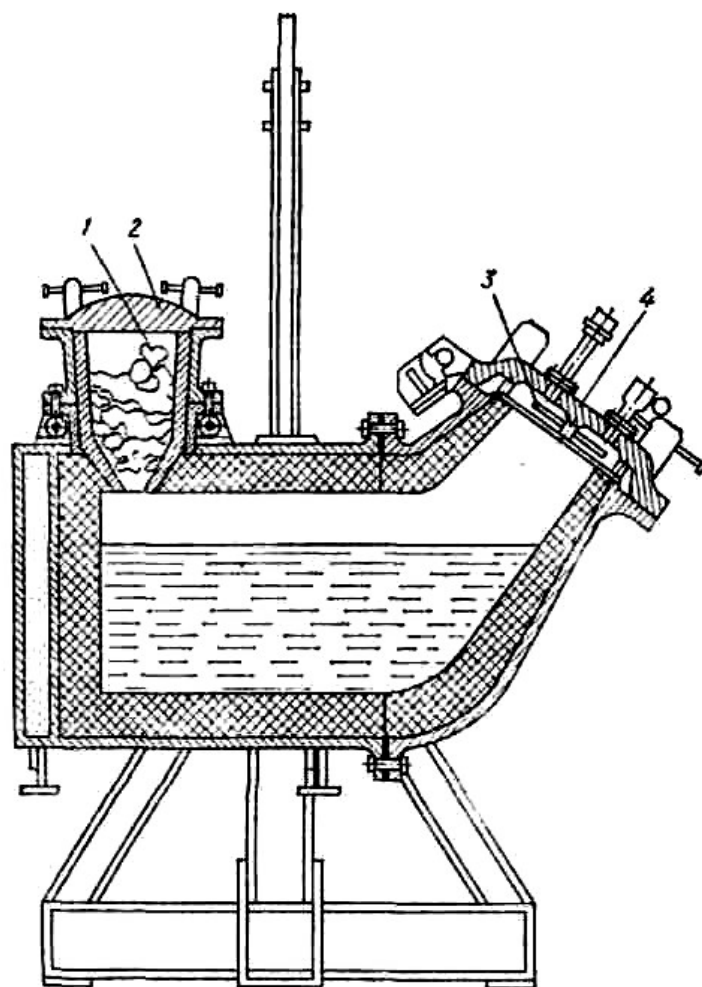


Рис. 82. Герметизированный ковш конвертерного типа емкостью 10 т

При использовании способов второй группы магний в составе лигатур или в виде механических смесей (брикеты Mg—FeSi , кокс, пропитанный магнием, и др.) вводится в жидкий чугун при заполнении ковша или формы. Наиболее часто используют Ni—Mg—Ce -лигатуры (15 % Mg , 5 % Ce) и Fe—Si—Mg -лигатуры (50—60 % Si , 3—10 % Mg), большинство из которых содержит немного Ca , Ce , Ba и другие элементы, обеспечивающие рафинирование и десульфурацию металла.

Тяжелые Ni—Mg -лигатуры, плотность которых больше плотности жидкого чугуна, можно закладывать в ковш в виде кусков перед его заполнением металлом. Для обработки чугуна легкими лигатурами на основе кремния наибольшее распространение нашел «сэндвич — процесс», при котором лигатура загружается в специальную полость, образованную в футеровке днища ковша, и прикрывается стальной высечкой. Другим способом, обеспечивающим меньший расход лигатуры, является заливка чугуна в ковш с лигатурой, помещенной в кармане, образованном разделением дна ковша перегородкой на две неравные части. Сверху лигатура прикрывается слоем дробленого карбида кальция. Если ковш закрыть специальной сменной крышкой, то обработка металла будет происходить без пироэффекта,

дымовыделения и выбросов расплава даже при использовании лигатур с повышенным содержанием магния.

Улучшить растворение магниевых лигатур можно перемешиванием расплава в ковше механическим способом или продувкой инертным газом.

Весьма эффективным методом, обеспечивающим максимальное усвоение магния при минимальном расходе лигатуры, является модифицирование чугуна непосредственно в полости литейной формы (рис. 83). Мелкодробленую лигатуру помещают в специальную реакционную камеру литниковой системы. При применении этого метода необходимо обеспечить правильный расчет элементов литниковой системы, однородность состава лигатуры и низкое содержание серы в базовом чугуне.

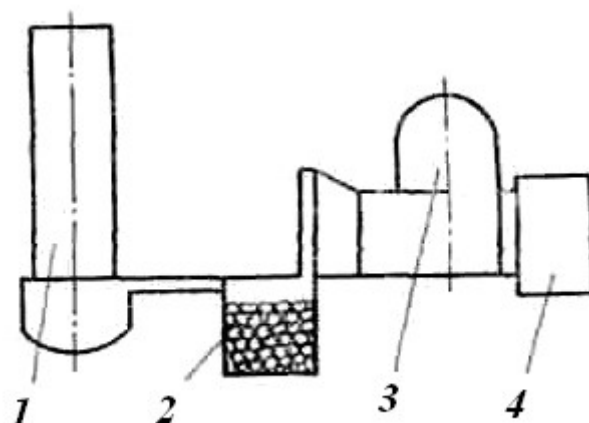


Рис. 83. Литниковая система при модифицировании чугуна в литейной форме: 1 — стояк; 2 — реакционная камера с модификатором; 3 — шлакоулавливающая бобышка; 4 — отливка

Обрабатывать чугун магнием непосредственно в процессе заливки формы можно также путем дозированного введения в струю жидкого металла у литниковой чаши проволоки, содержащей прессованный порошок из сплава Fe—Si—Mg. Устройство для подачи проволоки в зону контакта с расплавом обеспечивает автоматическое регулирование количества растворенной лигатуры в зависимости от скорости заливки.

При сравнительной оценке различных способов введения магния в чугун наиболее важно, учесть максимальный коэффициент усвоения модификатора $\eta = (Mg_{\text{усв}}/Mg_{\text{мод}}) \cdot 100 \%$, где $Mg_{\text{мод}}$ — введенный магний; $Mg_{\text{усв}}$ — магний, усвоенный чугуном. Преимущество имеют способы введения магния под давлением, обеспечивающие возрастание коэффициента усвоения в 2—3 раза.

Часть усвоенного чугуном магния, взаимодействуя с серой, кислородом и азотом чугуна, образует устойчивые и не растворяющиеся в чугуне соединения: сульфиды (MgS), оксиды (MgO), нитриды (Mg_3N_2); остальная часть усвоенного магния растворяется в чугуне ($Mg_{\text{ост}}$): $Mg_{\text{усв}} = Mg_{\text{ост}} + Mg_{\text{сульф}} + Mg_{\text{окис}} + Mg_{\text{нитр}}$.

С учетом коэффициента усвоения количество магния, которое должно быть введено с модификатором,

$$Mg_{\text{мод}} = (Mg_{\text{ост}} + Mg_{\text{сульф}} + Mg_{\text{окис}} + Mg_{\text{нитр}}) / \eta.$$

Формулу можно упростить, если пренебречь значениями $Mg_{\text{окис}}$ и $Mg_{\text{нитр}}$ как очень малыми и если учесть, что минимальное количество магния, при котором проявляется его модифицирующее действие, 0,04 % ($Mg_{\text{ост}} = 0,04 \%$):

$$Mg_{\text{мод}} = [0,04 + 0,76 (S_{\text{исх}} - 0,02)] / \eta,$$

где 0,76 — соотношение атомных масс Mg и S; $S_{\text{исх}}$ — содержание серы в чугуна до его модифицирования; 0,02—содержание серы после модифицирования чугуна.

Магний является карбидообразующим элементом, и для предотвращения отбела после сфероидизирующей обработки проводят вторичное графитизирующее модифицирование в ковше или форме. Количество модификатора обычно составляет 0,3—1 % в зависимости от химического состава чугуна и толщины стенки отливки. Такое модифицирование не проводят, если отливки подвергаются графитизирующему отжигу.

Учитывая, что шаровидный графит не оказывает такого сильного влияния на механические свойства, как пластинчатый, содержание углерода обычно поддерживается на достаточно высоком уровне (3,2—3,8 %), что повышает литейные свойства чугуна и снижает его склонность к отбелу.

Содержание кремния 2—3 % выбирают с целью предотвращения отбела, а также для регулирования структуры металлической матрицы. Вследствие отрицательного влияния кремния на ударную вязкость и для снижения порога хладноломкости рекомендуется, чтобы его содержание не превышало 2,1—2,4 %. В чугунах с ферритной матрицей по этой же причине содержание марганца и фосфора должно быть, возможно низким.

Низкий уровень серы в базовом чугуна (менее 0,02 %) является одним из основных условий эффективности сфероидизирующей обработки. Высокое содержание серы обуславливает увеличенный расход модификатора и приводит к снижению механических свойств чугуна вследствие образования неметаллических включений. При повышенном содержании серы в чугуна перед введением магния необходимо проводить внепечную десульфурацию.

Высокопрочный чугун используют и как материал со специальными свойствами. Применение его для изложниц мелких и средних стальных слитков позволяет повысить их стойкость в 2—2,5 раза по сравнению с изложницами из обычного серого чугуна.

Весьма перспективным является использование высокопрочного чугуна с аустенитной структурой. В основном изучены высоколегированные чугуны (Ni—Cr—Cu), аналогичные чугуна «нирезист». По коррозионной стойкости, жаростойкости и ростоустойчивости чугуны с шаровидным графитом превосходят аустенитные чугуны с пластинчатым графитом.

7. ОТЛИВКИ ИЗ ЧУГУНА С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ ГРАФИТОМ

Чугун с вермикулярным графитом занимает промежуточное положение между чугунами с пластинчатым и шаровидным графитом и в силу этого

сочетает хорошие литейные свойства с достаточно высокими прочностью, пластичностью и ударной вязкостью (табл. 18).

Таблица 18

Механические свойства чугунов с вермикулярным графитом

Металлическая основа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость <i>HB</i>	Ударная вязкость при 20 °С, Дж/см ^г
Ферритная	320—360	4—7	130—160	6—8
Ферритно-перлитная	360—420	2—5	170—230	4—7
Перлитная	420—550	0,5—2,5	240—285	2—4

Примечание. Модуль упругости чугунов $14 \cdot 10^4$ МПа.

Теплопроводность чугуна с вермикулярным графитом (49— 51) 10^2 Вт/(м·°С) значительно выше, чем теплопроводность чугуна с шаровидным графитом (0,29—0,33) 10^2 Вт/(м·°С) и лишь немного ниже, чем у серого чугуна (50—55) 10^2 Вт/(м·°С). Другой характерной особенностью этого сплава является значительно меньшая, чем у серого чугуна, чувствительность механических свойств к изменению скорости охлаждения.

Такие высокие показатели механических свойств и теплопроводности в сочетании с хорошими литейными свойствами позволяют использовать чугун с вермикулярным графитом для крупных отливок сложной конфигурации. В последние годы расширяется применение этого сплава в автомобильной и судостроительной промышленности, особенно для ответственных деталей дизелей, работающих в условиях динамических и термоциклических нагрузок (блоков и головок цилиндров, тормозных дисков и др.).

Для получения в структуре вермикулярного графита чугун подвергается обработке сфероидизирующими присадками, как и высокопрочный чугун, но в меньшем количестве. Однако узкий интервал эффективного остаточного содержания Mg или Ce и необходимость строгого контроля содержания S в базовом чугуне и температуры обработки расплава затрудняют получение этого сплава в промышленных условиях. Небольшие отклонения оптимального соотношения S и Mg вызывают получение в структуре либо пластинчатого, либо шаровидного графита.

Существует два основных способа получения данного чугуна, обеспечивающих достаточно стабильные результаты. Первый способ состоит в обработке расплава РЗМ (Ce, Y и др.) в виде многокомпонентных лигатур из расчета получения остаточного содержания РЗМ в пределах 0,1—0,15 %, в том числе 0,02—0,06 % Ce. Количество лигатуры тем больше, чем выше содержание серы в базовом чугуне. После обработки лигатурой требуется дополнительное вторичное графитизирующее модифицирование для предотвращения отбела.

При втором способе в чугун вводят лигатуру, содержащую одновременно глобуляризирующие (Mg, Ce) и деглобуляризирующие (Ti, Al) элементы, а

также кальций. Например, можно использовать лигатуру следующего состава, %: 48—52 Si, 4—5 Mg, 8—10 Ti, 0,02—0,04 Ce, 4—6 Ca, 1—2 Al, остальное Fe.

8. ОТЛИВКИ ИЗ БЕЛОГО И ОТБЕЛЕННОГО ЧУГУНОВ

Белый чугун широко применяют для изготовления деталей дробильного оборудования (брони шаровых мельниц, мелющих шаров), деталей шламовых насосов, лопастей шнеков, лопаток дробебетонных турбин и т. д. Нелегированный белый чугун обладает повышенной хрупкостью и при обычных режимах не поддается обработке резанием. Отливки, имеющие белый излом по всему сечению, применяют в случаях, когда детали не требуют механической обработки и не подвергаются в процессе эксплуатации ударным нагрузкам.

Детали, работающие в условиях усиленного износа и повышенных нагрузок, например прокатные валки, крановые, рудничные и конвейерные колеса, изготавливают из чугуна с поверхностным отбелом. Макроструктура отливок состоит из наружного слоя белого чугуна, обеспечивающего высокое сопротивление износу, и сердцевины из серого чугуна, обеспечивающего вязкость и прочность отливки.

Повышение содержания углерода в белом чугуне в связи с изменением количества и формы цементита способствует повышению твердости, а, следовательно, износостойкости, но при этом снижаются прочность и пластичность.

В особо жестких условиях эксплуатации для повышения абразивной стойкости применяют легированные белые чугуны, в основном хромоникелевый чугун «нихард», содержащий до 5 % Ni и до 2,5 % Cr. Такой чугун обладает высокой твердостью и прочностью благодаря мартенситной структуре. Регулируя содержание углерода, можно получить чугуны повышенной прочности или повышенной твердости.

Отливки с наружным отбеленным слоем получают в результате ускорения охлаждения наружных слоев металла с помощью холодильников (кокилей). Изменяя интенсивность охлаждения и химический состав чугуна, можно получать отливки с различной глубиной зоны чистого отбела и переходной зоны, а также регулировать твердость отбеленного слоя. По уменьшению влияния на твердость отбеленного слоя элементы можно расположить в ряд C, Ni, P, Mn, Cr, Mo, V, Si, Cu, Ti.

Между влиянием элементов на отбеливаемость и твердость белого чугуна нет связи, как это имеет место в сером чугуне. Углерод, наиболее сильно влияющий на твердость белого чугуна, в то же время является графитизирующим элементом и уменьшает отбел. Большое влияние на глубину отбела и твердость оказывает интенсивность охлаждения наружного слоя, которую регулируют изменением толщины холодильника, нанесением теплоизолирующих покрытий или повышением температуры холодильника.

9. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЧУГУНА

Шихтовые материалы. Особенности процесса приготовления жидкого чугуна (применяемые шихтовые материалы и методы плавки) в значительной степени определяют свойства чугуна отливки.

В настоящее время до 90 % всего чугуна выплавляется в вагранках. Непрерывно возрастающие требования к свойствам чугунов, соединение новых марок модифицированных и легированных чугунов вызывают необходимость широкого внедрения плавки в электропечах, главным образом в индукционных печах промышленной частоты. Одновременно совершенствуется процесс ваграночной плавки с целью получения высококачественного чугуна при минимальных затратах.

Составляющими металлической шихты являются литейный и переделный чушковые чугуны, ферросплавы, собственные отходы производства (литники, брак), чугунный лом со стороны, стальной лом.

Состав литейных коксовых чушковых чугунов регламентирован ГОСТ 4832. Основным классификационным признаком является содержание кремния в диапазоне от 3,2—3,6 % до 1,2—1,6 %, в соответствии с которым чугуны делятся на шесть марок. В зависимости от содержания других элементов чушковые чугуны делят на группы (по марганцу от 0,05 до 1,5 %), классы (по фосфору от 0,03 до 1,2 %) и категории (по сере от 0,02 до 0,05 %). Для удобства шихтовки масса одной чушки не должна превышать 25 кг.

При ваграночной плавке возможно использование и переделных доменных чугунов, отличающихся низким содержанием кремния (не более 1,3 %). При замене литейных чугунов в шихте переделными отмечается некоторое улучшение механических свойств, повышение жидкотекучести и склонности к отбелу выплавляемого серого чугуна. Однако применение переделных чугунов предопределяет существенное увеличение ферросилиция в металлозавалке и необходимость его точного дозирования.

Для выплавки чугунов, легированных хромом и никелем, используется природнолегированный чушковый чугун, выплавляемый из орско-халиловских руд. Этот чугун содержит 2,1—3,7 % Cr и до 0,6 % Ni.

Для регулирования содержания кремния и марганца в выплавляемом чугуне в шихту добавляют ферросплавы: ферросилиций, содержащий 20—75 % Si (ФС20Л, ФС45 и ФС75Л), и ферромарганец, содержащий 70—85 % Mn.

Значительную часть шихты составляют вторичные черные металлы: собственные отходы производства, стружка, а также чугунный и стальной лом со стороны. Существующие стандарты и технические условия предусматривают подразделение лома на группы в зависимости от химического состава (легированный и нелегированный). Установлены допустимые размеры кусков и их масса. Их максимальный размер не должен превышать 1/3 диаметра шахты вагранки.

В литейном цехе, как правило, проводят дополнительную сортировку и выборочный химический анализ лома и возврата, чтобы обеспечить

минимальный разброс показателей химического состава каждой партии вторичных черных металлов, применяемых для шихтовки.

Топливом для вагранки служит в основном каменноугольный литейный кокс, классифицируемый согласно ГОСТ 3340 на три сорта, отличающихся предельным содержанием серы (от 0,6 до 1,4 %) и зольностью (от 11 до 12 %). Содержание влаги должно составлять не более 5 %, выход летучих веществ — не более 1,2 %, минимальный размер кусков — 40 мм.

Литейный кокс отличается от металлургического доменного большей плотностью (пористость не выше 42 %) и, следовательно, более низкой реакционной способностью. В качестве флюса преимущественно используют известняк, содержащий не менее 50 % CaO и не более 3 % ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$).

Плавка чугуна в вагранке. Вагранка представляет собой шахтную печь непрерывного действия, работающую по принципу противотока, в которой металл соприкасается с твердым топливом и продуктами его горения. Металлическая шихта, опускаясь вниз, нагревается и плавится за счет теплоты поднимающихся газов и затем перегревается при дальнейшем контакте с раскаленным коксом. Из всех топливных печей вагранки имеют наибольший тепловой коэффициент полезного действия (КПД), достигающий 35—45 %.

Вагранка (без трубы и искроуловителя) показана на рис. 84. Цилиндрический кожух вагранки опирается на подовую плиту 3 и колонны 1. В подовой плите имеется отверстие, которое во время плавки закрыто крышкой 2. По окончании плавки крышка открывается, и через отверстие удаляются остатки кокса, шлак и др. Кожух изнутри футеруют, как правило, шамотным кирпичом или шамотной набивной массой. После футеровки стенок и закрытия крышки 2 специальной массой набивают под 4, имеющий уклон к летке 9 для выпуска жидкого чугуна.

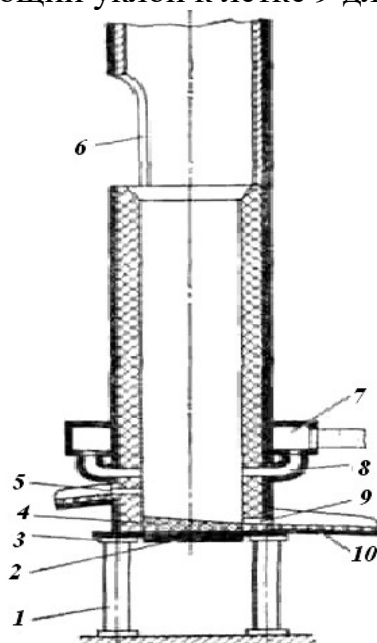
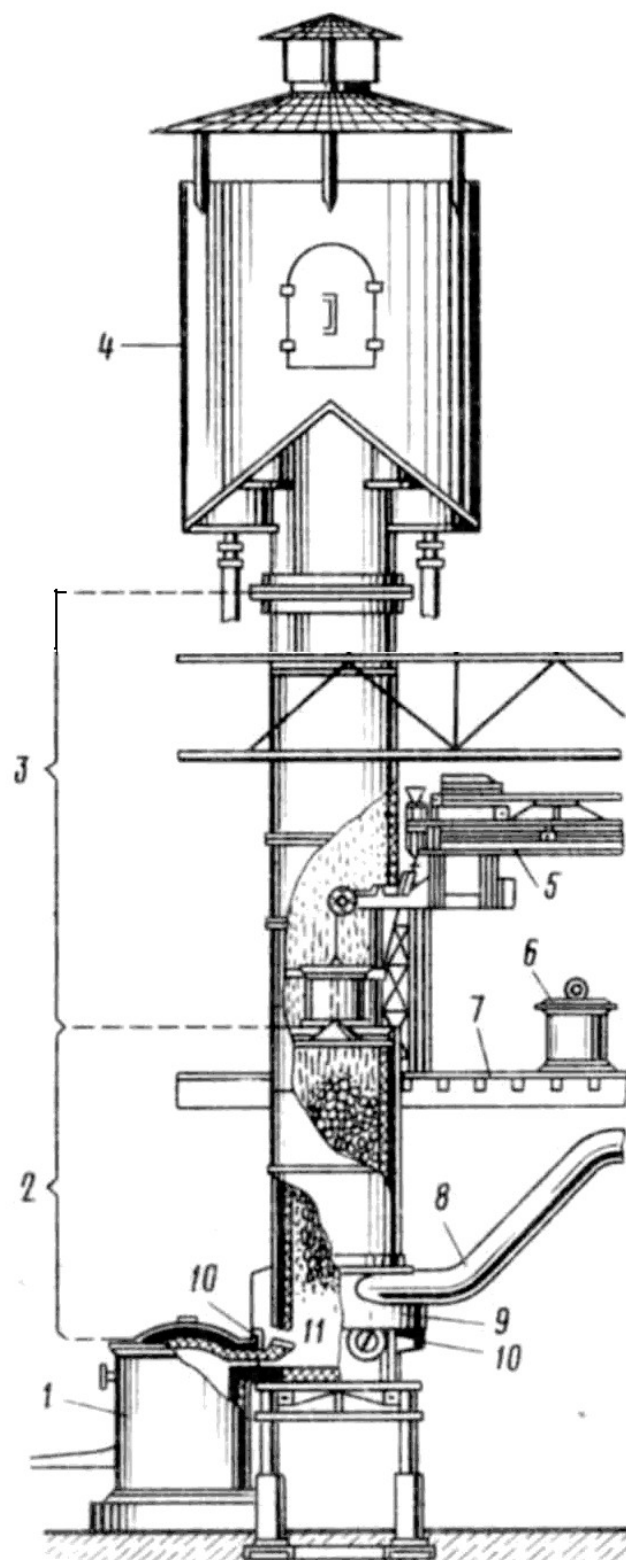
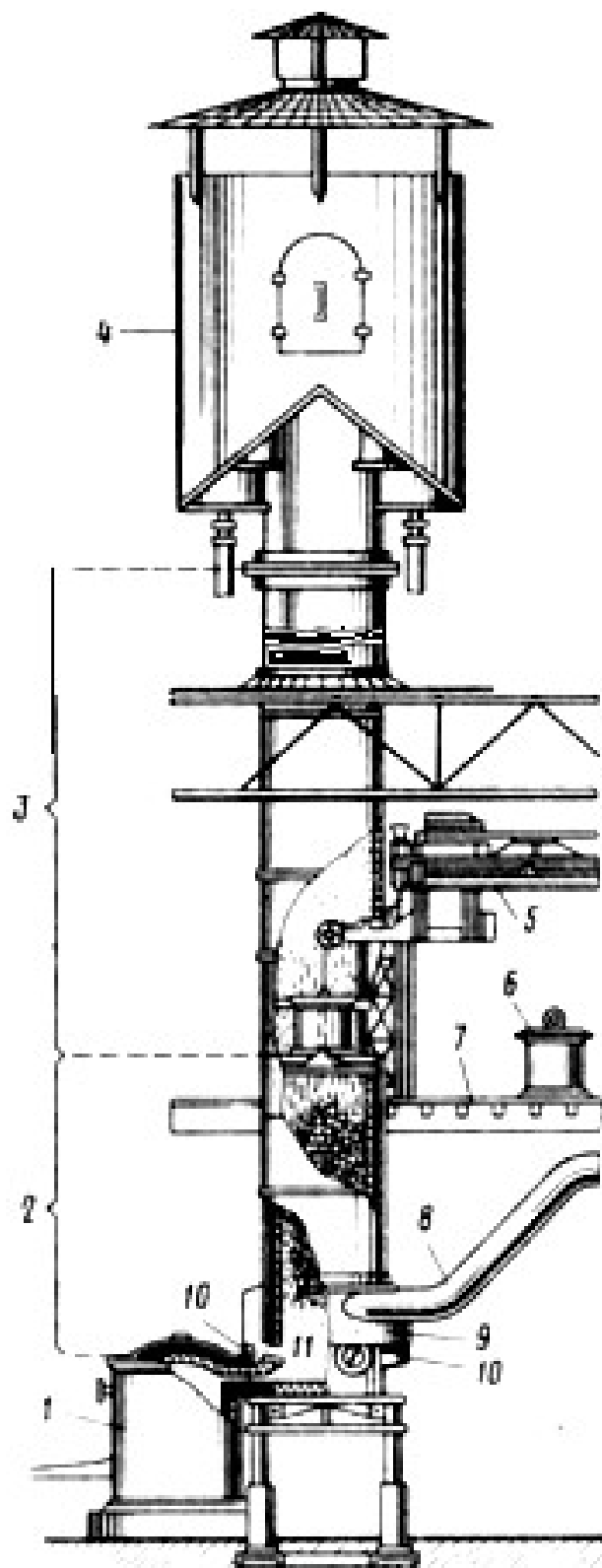


Рис. 84. Вагранка



Схематический разрез вагранки:

- 1 — копильник; 2 — шахта; 3 — труба;
 4 — искрогаситель; 5 — загрузочный кран; 6 загрузочная бадья;
 7 — колошниковая площадка; 8 — воздухопровод; 9 — фурменный пояс,
 10 — фурмы; 11 — горн



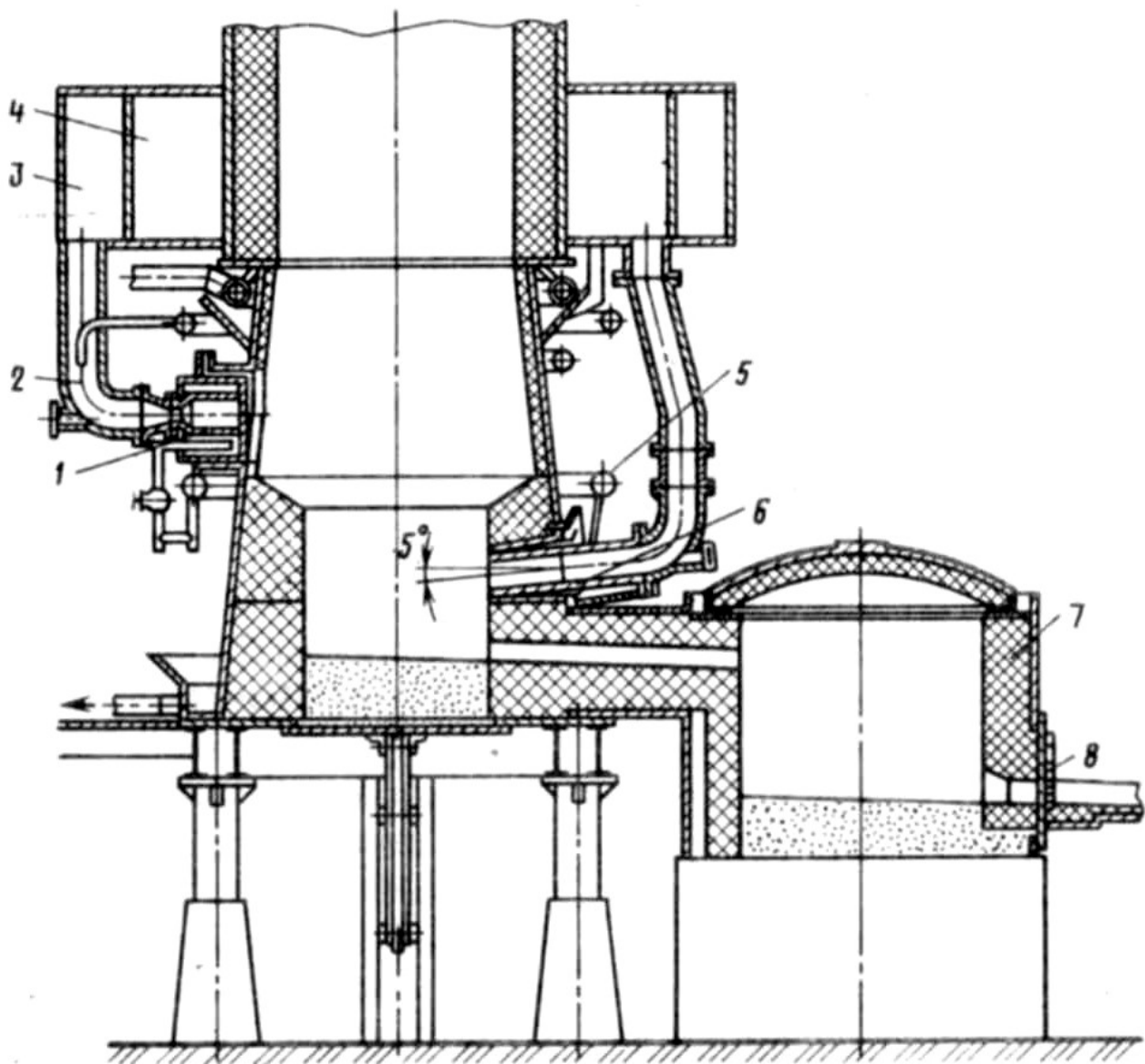


Рис. К-13. Схема коксогазовой вагранки:

1 — горелочный туннель; 2 — горелка; 3 и 4 — воздушные коробки для горелок и фурм; 5 — водяное охлаждение; 6 — медная фурма; 7 — копильник; 8 — летка

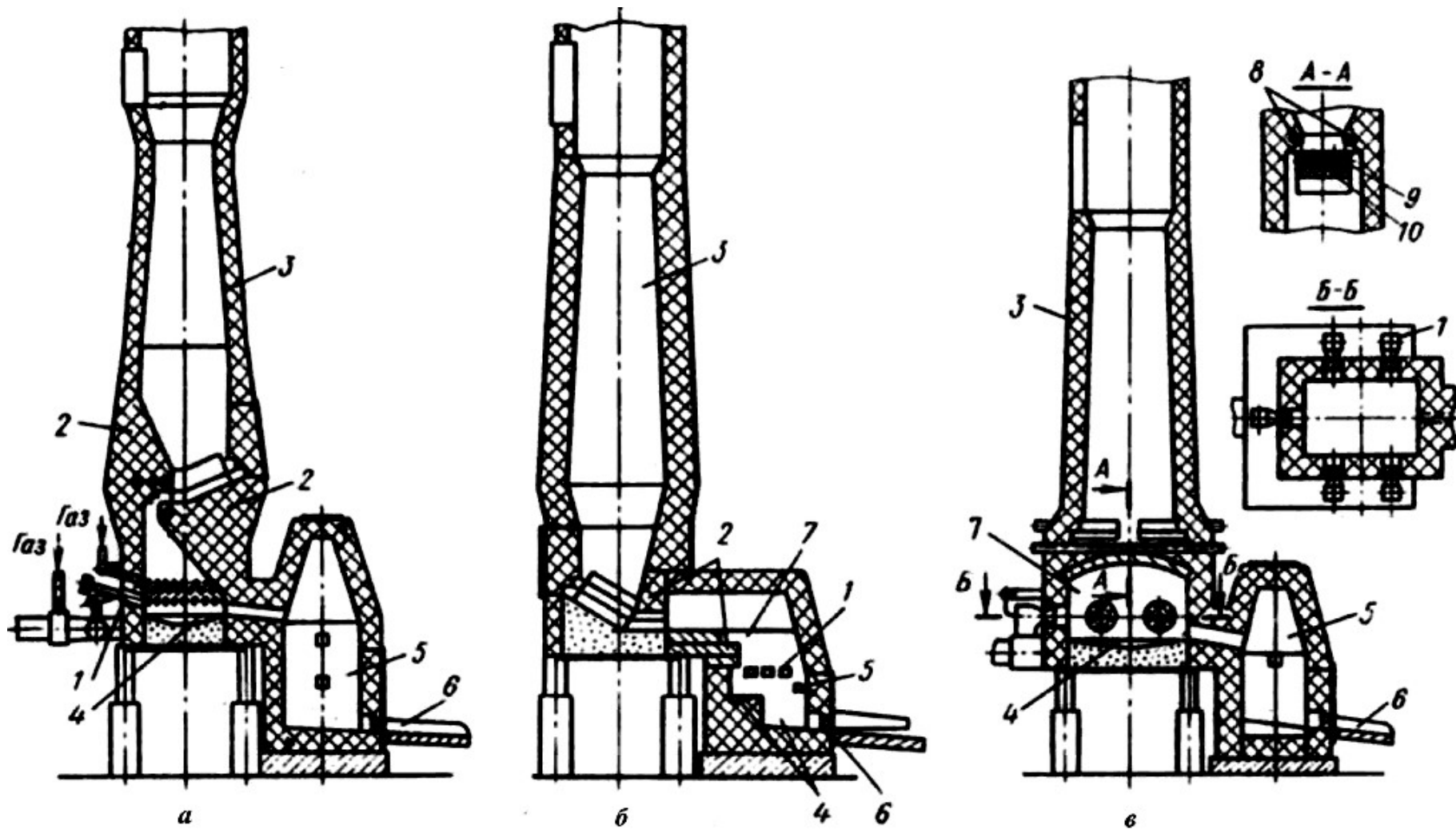


Рис. Г-1. Типы газовых вагранок:

а — с уступами в шахте; б — с выносной камерой нагрева; в — с перемычкой в шахте; 1 — газовая горелка; 2 — водоохлаждаемые уступы; 3 — шахта; 4 — ванна для жидкого металла; 5 — шлаковая летка; 6 — металлическая летка; 7 — шахта перегрева; 8 — водоохлаждаемые выступы; 9 — трубы охлаждения; 10 — водоохлаждаемая перемычка

ГАЗОВАЯ ВАГРАНКА —плам. печь с шахтой для подогрева шихты (рис. Г-1). Принципиально отличается от коксовой *вагранки* (отсутствует холостая коксовая колоша, огранич. размеры зоны подогрева шихты, пост, высота зоны плавления). Зона плавления образована водоохлаждаемыми уступами или перемычкой. Чугун перегревается в бассейне на подине печи в момент падения капель в струе газа. Преимущества Г. в.: более дешевое топливо, уменьшение выброса пыли, снижение в чугуне серы. Недостатки Г. в.: не обеспечивается перегрев чугуна, необходимость применения высокоуглеродистого чугуна, трудность использования металло-отходов, малая стойкость футеровки на водоохлаждаемых уступах и перемычках.

Воздух для горения кокса подается от воздуходувки в фурменный коллектор 7. Давление воздуха в среднем $(0,5—1) \cdot 10^4$ Па. Из фурменной коробки воздух направляется в фурмы 8, расположенные на определенном расстоянии от пода. Пространство от уровня фурм до подины называют горном. В верхней части горна имеется лётка 5 для выпуска шлака. При отсутствии копильника жидкий чугун через лётку 9 по желобу 10 периодически выпускается в разливочные ковши. Над уровнем фурм находится шахта вагранки. Через окно 6 загружают шихтовые материалы, топливо и флюсы.

Продолжением шахты является труба вагранки, заканчивающаяся расширяющейся частью — искроуловителем, назначение которого состоит в улавливании мельчайших твердых частиц, уносимых отходящими газами. В вагранках закрытого типа отходящие газы отсасываются из шахты через отверстие, расположенное выше уровня загрузочного окна, и поступают в систему газоочистки.

Длительность плавильной кампании вагранки в небольших цехах мелкосерийного производства определяется организацией работы в формовочно-сборочном отделении. Обычно она не превышает 16—20 ч. В плавильном отделении устанавливают две вагранки, работающие попеременно через день.

В цехах серийного и массового производства можно использовать вагранки с длительным циклом работы, продолжительность плавильной кампании которых составляет 1—3 недели. Эти вагранки обычно имеют нефутерованный кожух выше уровня фурм, наружное поливное охлаждение. Плавка идет практически на гарнисаже, образующемся на внутренней поверхности шахты печи.

После выбивки и охлаждения вагранку очищают от шлаковых настывлей, восстанавливают футеровку и набивают подину. В подготовленную к плавке вагранку через окно загружают первую порцию кокса. В несколько отверстий, имеющих в нижней части горна, вставляют переносные газовые горелки и разжигают кокс. После того как весь кокс равномерно раскалится, горелки убирают, отверстия в горне заделывают огнеупорной массой; дальнейшее горение кокса идет при подаче воздуха через фурмы.

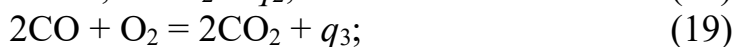
Первую порцию кокса, лежащую на подине вагранки, называют холостой колошей. Высота холостой колоши зависит от производительности вагранки и режима плавки. В большинстве случаев верхний уровень холостой колоши выше уровня фурм на 800—1200 мм.

После того как холостая колоша доведена до заданного уровня и кокс в ней раскален, начинают загрузку вагранки. Через окно попеременно загружают рабочие колоши (металлические и топливные), а также флюс. Всего в шахте помещается пять—семь рабочих колош. Затем включают дутье, и начинается процесс плавки. За определенный отрезок времени после начала плавки теплоты, выделившейся в результате горения кокса, оказывается достаточной для подогрева, а затем и для расплавления первой металлической колоши. За это время сгорает часть кокса холостой колоши, и уровень ее понижается

(обычно на 100—200 мм). Но за расплавившимся металлом находится кокс рабочей колоши, который присоединяется к коксу холостой колоши и восстанавливает ее первоначальную высоту. Плавление следующих металлических колош идет в той же последовательности. Следовательно, для поддержания постоянной высоты холостой колоши в рабочей колоше кокса должно быть столько, сколько его сгорает за время расплавления одной металлической колоши.

В результате сгорания кокса и проплавления одной металлической колоши столб шихты и топлива в шахте опускается, и через загрузочное окно загружают очередную металлическую и топливную колоши и флюсы.

Интенсивное горение кокса обеспечивает кислород воздуха, поступающий через фурмы, углерод кокса взаимодействует с образовавшимся CO_2 :



где q — количество теплоты.

На рис. 85 приведены данные, характеризующие изменение состава газовой фазы по высоте холостой колоши в околофурменной области. Эту область можно разделить на две зоны. Непосредственно над фурмами располагается кислородная зона, где протекают главным образом реакции (17), (18) и (19), идущие с выделением теплоты. На верхнем уровне этой зоны кислород воздуха практически полностью израсходован, и начинается редуционная зона, где получает развитие реакция (20), проходящая с поглощением теплоты. Соответственно снижается содержание CO_2 . Установившееся соотношение CO_2/CO в дальнейшем при прохождении газов в шахте вагранки существенно не изменяется.

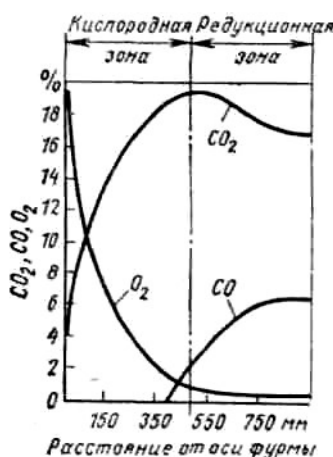


Рис. 85. Изменение состава газовой фазы в околофурменной области вагранки

В соответствии с процессами, имеющими преимущественное развитие в отдельных областях, вагранку по высоте можно условно разделить на пять зон;

I — подогрева, II — плавления, III — редуccionную, IV — кислородную и V — горновую (рис. 86).

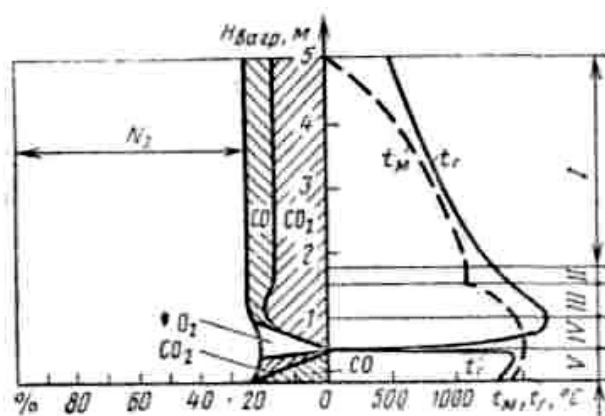


Рис. 86. Схема ваграночного процесса

Рассмотрим процессы, проходящие в этих зонах.

В I зоне газы движутся навстречу шихтовым материалам и нагревают их. Температура газов изменяется примерно от 1200 до 400 °С. Топливо, нагреваясь до 100 °С, теряет содержащуюся в нем влагу, а при нагреве до более высоких температур — и летучие вещества. Известняк, загружаемый в качестве флюса, полностью диссоциирует: $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$.

Во II зоне металл, нагретый до температуры плавления, полностью расплавляется. Температура металла при этом остается постоянной. По мере сгорания кокса и снижения верхнего уровня холостой колоши зона плавления перемещается соответственно вниз. К моменту начала плавления следующей металлической колоши верхний уровень холостой колоши вновь возвращается в исходное положение за счет кокса рабочей колоши. В течение всего периода плавления куски металла омываются газами, не содержащими свободного кислорода. Газы в этой зоне значительно охлаждаются, передавая теплоту на расплавление металла.

В III и IV зонах капли металла перегреваются вследствие излучения раскаленного кокса, а также высокой температуры газов. Чем выше эта температура и больше время нахождения капли металла в III и IV зонах, тем выше степень перегрева. Температура чугуна повышается за счет теплоты окисления примесей чугуна. В этих зонах происходит окисление компонентов сплава. Менее интенсивно оно идет в III зоне, где газовая фаза слабо окислительная, и более интенсивно в IV зоне, из-за наличия в ней свободного кислорода.

Изменение состава чугуна при плавке будет зависеть от интенсивности процессов окисления газовой фазой всех примесей, а также от процессов, происходящих при взаимодействии жидкого металла с коксом и шлаком. В этих зонах капли металла, соприкасаясь с кусками кокса, растворяют углерод и серу кокса и насыщаются этими элементами. В этих же зонах формируется

жидкий шлак из флюса, золы кокса, оксидов различного состава, разрушающейся футеровки и т. д.

В V зоне, только в верхней ее части, газовая фаза окислительная. Металл и шлак в этой зоне охлаждаются вследствие потерь теплоты через стенки горна. Состав металла изменяется только за счет насыщения серой и углеродом из кокса.

Перегрев чугуна. Важное значение для получения чугуна высокого качества имеет его перегрев в период пребывания в III и IV зонах вагранки. На рис. 87 показано распределение температуры газовой фазы по высоте вагранки при разных расходах дутья, его температуры и расходах кокса.

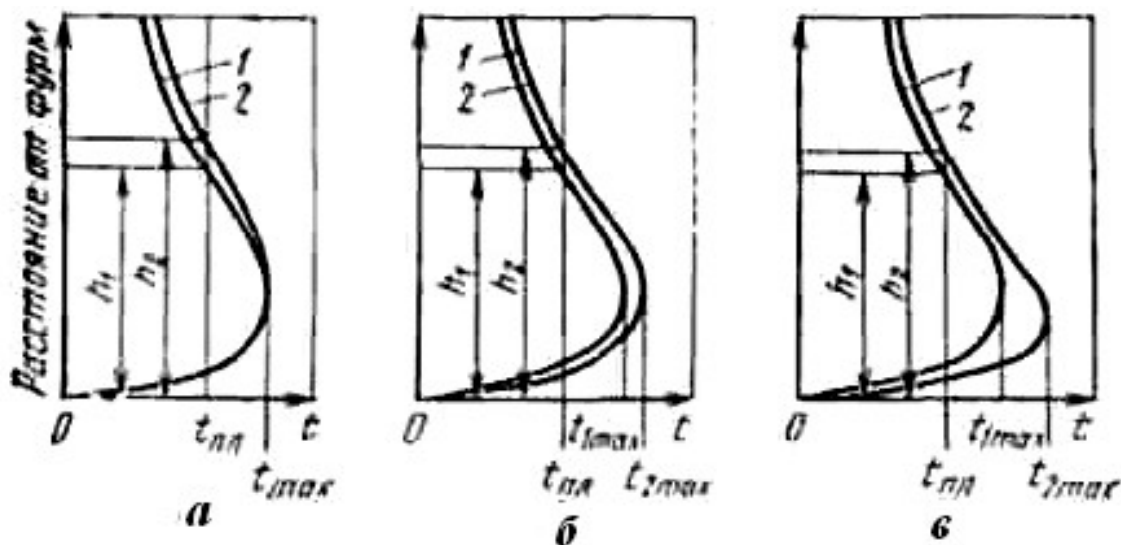


Рис. 87. Изменение температуры в вагранке над уровнем фурм в зависимости от технологических параметров плавки: а — расход кокса 8 (1) и 12 % (2); б — расход воздуха 70 (1) и 100 м³(м²/мин) (2); в — температура воздуха 20 (1) и 400 °С (2)

В зависимости от характера кривой распределения и средней температуры плавления $t_{пл}$ металла определяется верхний уровень области плавления и расстояние h , которое проходит капля металла в зоне высоких температур. В IV зоне вагранки изменяется также максимальная температура t_{max} . Очевидно, количество теплоты, переданное капле металла, а, следовательно, перегрев металла тем больше, чем выше максимальная температура газов t_{max} и длиннее путь, пройденный каплей металла в зоне высоких температур h , а также интенсивнее подъем температур у фурм. Это можно выразить формулой $\Delta t = \alpha h t_{max}$, где α — коэффициент, учитывающий условия теплопередачи и распределение температур.

Степень перегрева чугуна можно повысить, увеличивая расход кокса или расход воздуха, а также повышая температуру последнего (рис. 88). При увеличении расхода кокса и неизменном расходе воздуха повышается температура чугуна, но снижается производительность вагранки, так как на сгорание кокса одной рабочей колоши и проплавление одной металлической колоши требуются больше времени.

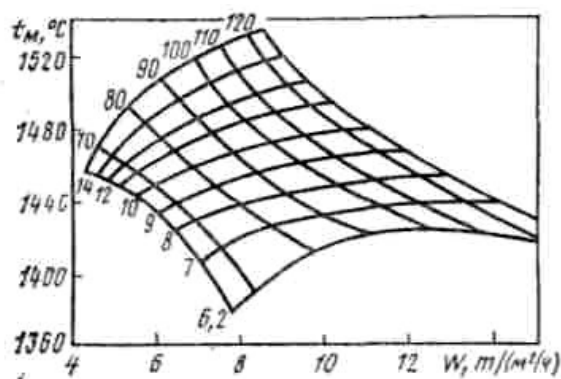


Рис. 88. Зависимость удельной производительности вагранки и температуры t_M чугуна на желобе от расхода кокса и воздуха

Увеличение расхода воздуха повышает производительность вагранки и до определенного предела температуру чугуна. Например, при расходе менее 7 % кокса повышение подачи дутья более $100 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$ уменьшает температуру чугуна, так как за время расплавления одной металлической колоши сгорает больше кокса холостой колоши, чем имеется в рабочей топливной колоше, и зона плавления понижается.

Изменение состава чугуна. Газовая фаза в I—IV зонах, где металл нагревается, расплавляется и перегревается, является окислительной по отношению к железу и остальным элементам чугуна. Однако конечный состав чугуна определяется не только воздействием газовой фазы, но и влиянием шлака, а также взаимодействием жидкого металла с коксом. В результате окисления железо, кремний и марганец угорают и их оксиды (FeO , SiO_2 , MnO) переходят в шлак. В зависимости от дутьевого и топливного режимов плавки и определяемого ими состава газовой фазы угар кремния составляет 5—15 %, марганца — 10—20 %. Более значительный угар марганца по сравнению с угаром кремния обусловлен наличием кислых шлаков.

Фосфор окисляется до P_2O_5 , однако непрочный оксид не связывается кислыми ваграночными шлаками, полностью восстанавливается, и весь фосфор вновь переходит в металл. Таким образом, при обычных условиях плавки концентрация фосфора не изменяется.

Наиболее сложно регулировать содержание углерода в выплавляемом металле. Во всех зонах, где металл находится в жидком состоянии, одновременно происходят два процесса: окисление углерода в металле газовой фазой и науглероживание металла за счет углерода кокса. В нижней части горна, где газовая фаза восстановительная, происходит только последний процесс. Особое значение приобретает процесс науглероживания при использовании в составе шихты стального лома. Цель увеличения содержания стали в шихте — снижение содержания углерода в выплавленном металле. Но при этом повышается степень науглероживания.

Таким образом, конечное содержание углерода в выплавленном чугуне зависит от ряда факторов. Важнейшими из них являются, содержание стали в шихте, окислительная способность газовой фазы и продолжительность

нахождения жидкого чугуна в горне вагранки; также оказывают влияние факторы, определяющие интенсивность науглероживания углеродом кокса, т. е. температура в III и IV зонах, размер кусков кокса, содержание в нем золы и пр.

На практике для данных условий плавки экспериментально определяют коэффициенты, характеризующие изменение содержания углерода при проплавлении шихт различного состава.

Содержание серы в чугуне при обычных методах плавки на кислых шлаках повышается главным образом за счет насыщения кокса серой. Поэтому, чем выше содержание серы в коксе и больше его расход, тем выше концентрация серы в выплавленном чугуне при прочих равных условиях. Обычно содержание серы увеличивается на 50—150 % по сравнению с исходным. При необходимости получения чугуна с низким содержанием серы применяют специальные методы плавки в вагранке на основных шлаках.

Шлаки. Процесс плавления чугуна сопровождается образованием шлаков. Источниками шлакообразования являются оплавившаяся футеровка, зола кокса, различные оксиды, внесенные шихтой (окалина, песок и т. д.), продукты окисления компонентов чугуна при плавке (FeO , SiO_2 , MnO и др.), флюс. Для регулирования состава шлака, обладающего минимальной температурой плавления и минимальной вязкостью, чаще всего используют известняк. При обычной футеровке шамотным ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 > 30\%$) или полукислым ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 > 20\%$) кирпичом получают кислые шлаки с основностью $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0,5 \div 0,6$, содержащие 40—50 % SiO_2 , 18—25 % CaO , 9—18 % Al_2O_3 , 4—8 % FeO , 2—5 % MnO , 1—4 % MgO и 0,05—0,1 % S.

При основной ваграночной плавке футеровку делают из магнезита, хромомagneзита или доломита, за счет введения повышенного количества известняка получают шлак с основностью $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,5 \div 2$, содержащей 25—30% SiO_2 , 42—50 % CaO , 6—8 % Al_2O_3 , 0,5—1% FeO , 0,7—1,5 % MnO , 12—15% MgO и 0,9—1,1 % S.

При наличии свободного CaO в основном шлаке проходит реакция обессеривания: $\text{FeS} + \text{CaO} = \text{CaS} + \text{FeO}$. Нерастворимое в металле соединение CaS переходит в шлак. Эффективности процесса обессеривания способствуют повышение основности шлака, снижение содержания FeO в шлаке и повышение перегрева. Основной ваграночный процесс позволяет не только предотвращать насыщение металла серой из кокса, но и выплавлять чугун с содержанием серы ниже исходного. При плавке на основных шлаках указанного состава дефосфорации не происходит, так как для удаления фосфора высокоосновный шлак должен содержать еще 20—30 % FeO , и плавка должна проводиться при возможно низких температурах.

Интенсификация плавильного процесса. Наиболее эффективным и широко распространенным методом интенсификации плавки в вагранках является использование горячего дутья, которое обеспечивает повышение температуры чугуна и снижение, расхода кокса.

При неизменном расходе кокса можно обеспечить повышение температуры перегрева чугуна примерно на $\sim 70^\circ\text{C}$ (рис. 89). При сохранении той же температуры чугуна расход кокса можно снизить на $\sim 30\%$. Возможна

реализация промежуточного варианта, при котором имеет место экономия кокса при одновременном повышении температуры чугуна.

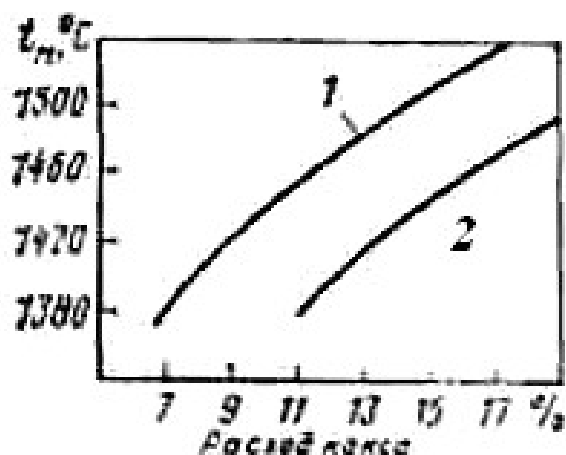


Рис. 89. Зависимость температуры чугуна на желобе от расхода кокса и температуры дутья, °C: 1 — 500; 2 — 20

На рис. 90, а приведена схема вагранки, где осуществляется подогрев дутья до 500 °C в конвекционно-радиационном рекуператоре 1, конструкция которого позволяет при необходимости кроме теплоты отходящих газов использовать внешний источник подогрева. Сжигаемые в рекуператоре газы предварительно очищаются в газоочистителе 2, содержание пыли в них 50—100 мг/м³. В систему газоочистки входит охладитель газов 3, дезинтегратор мокрой очистки 4, который одновременно создает необходимое разрежение, и осушитель 5. Подогретый воздух из рекуператора поступает в фурменный коллектор вагранки 6.

Основой плавильного комплекса является вагранка закрытого типа с нефутерованным кожухом (рис. 90, б). Конический стальной кожух печи 1, не имеющий футеровки от загрузочного окна до фурм, обеспечивает свободный сход шихты, а также интенсивное охлаждение водой. В верхней части печи находится футерованная кольцевая камера 2 газоотсоса, соединенная с системой очистки.

Уровень завалки в шихте контролируется изотопным уровнемером 3. Во время розжига холостой колоши и в период простоя горячей порожней вагранки, например в выходные дни, печь закрывается крышкой 4. Горн 5 каналом 7, расположенным на уровне пода 8, соединяется с двумя компрессионными сифонами 9, находящимися под давлением ваграночных газов. Чугун и шлак непрерывно выпускаются через один из сифонов, что значительно уменьшает износ футеровки горна. Горячее дутье подается через водоохлаждаемые медные фурмы 6, вдвинутые в зону горна. Многослойная футеровка горна выполняется из кислых и полукислых огнеупорных масс путем торкретирования или набивки. Такая конструкция печи позволяет увеличить продолжительность плавильной кампании без выбивки до 2—3 недель, довести долю стального скрапа в шихте до 60 %, а также обеспечить высокий перегрев чугуна (1500—1560 °C).

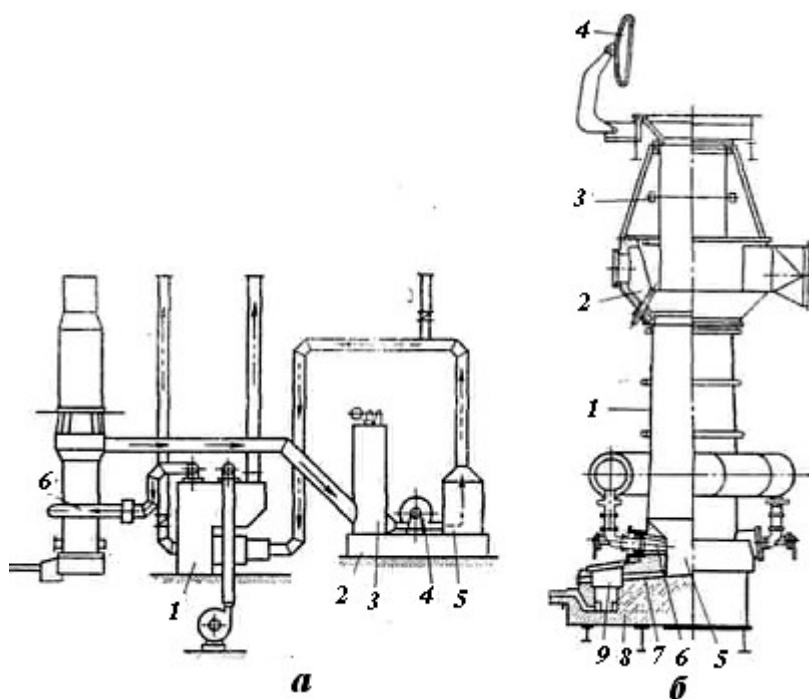


Рис. 90. Вагранки: *а* — с установкой для очистки газов и рекуператором; *б* — закрытого типа (← — отходящие газы; ←---- — газы после очистки; ←----- — горячее дутье; ←····· — выброс)

На практике используют и другие методы, обеспечивающие увеличение производительности, снижение расхода кокса и повышение температуры чугуна. Это обогащение дутья 1—4 % кислорода и применение двух рядов фурм с контролируемым разделением дутья между фурменными коллекторами. Для экономии дефицитного кокса используют коксогазовые вагранки, где наряду с фурмами установлены газовые горелки.

Повышение требований к чистоте газов, выпускаемых в атмосферу, предопределяет необходимость оборудования вагранок эффективными установками газоочистки. Наибольшее распространение получила предварительная и тонкая очистки в барботажных скрубберах и скоростных пылеуловителях с трубами Вентури. Для предварительной очистки применяют также сухие циклоны и мультициклоны различной конструкции, которые задерживают 99,9 % пыли, размер частиц которой более 40 мкм. В отдельных случаях высокая степень очистки обеспечивается более дорогими и сложными устройствами, к которым относятся дезинтеграторы, тканевые фильтры и системы электростатического осаждения.

Плавка чугуна в электропечах. Плавка чугуна в тигельных индукционных печах промышленной частоты имеет ряд преимуществ: возможность получения точного химического состава, низкий угар элементов (что особенно важно при выплавке легированного чугуна), высокий перегрев металла, возможность использования в шихте большого количества стальных отходов и стружки.

Тигельная индукционная печь (рис. 91, а) состоит из металлического кожуха 1, в котором установлен тигель 2, закрывающийся крышкой 4.

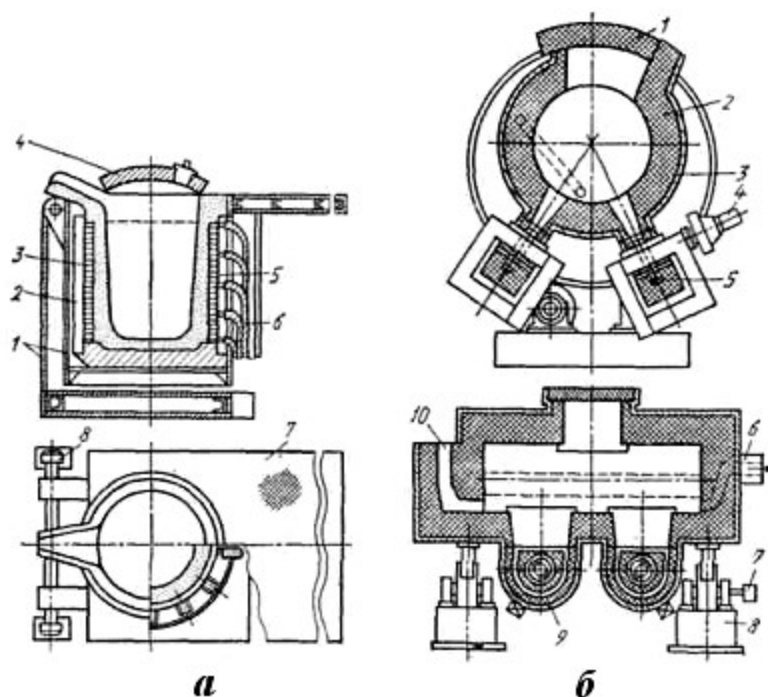


Рис. 91. Индукционные печи: *а* — тигельная; *б* — канальная

При плавке шихта загружается в тигель, который установлен в индукторе 3, связанном с магнитопроводами 5 и системой водяного охлаждения 6. Протекающий в индукторе переменный ток возбуждает в садке вихревые токи, разогревающие и плавящие металл. Печь размещается на площадке 7 и при сливе металла наклоняется с помощью механизма поворота 8.

Печи большой емкости часто выпускают в комплекте с установкой для предварительного подогрева шихты в загрузочной бадье, что обеспечивает повышение производительности печи.

Недостаток этих печей — малая скорость плавления твердой завалки. Поэтому для повышения производительности и снижения расхода электроэнергии плавку, как правило, ведут на «болоте», т. е. при выпуске сливают не более половины металла. Затем в жидкую ванну загружают твердую шихту, расплавляют, и цикл повторяется.

Тигли изготавливают в основном из кислой сухой набивной массы, содержащей молотые кварциты. Для спекания массы добавляют 1,5—2 % связующего — борной кислоты. Иногда используют нейтральные футеровочные массы на основе дистенсилиманита или муллитокорунда. Стойкость тигля зависит от многих факторов: зернового состава огнеупорной массы, технологии набивки, режима спекания, состава шихты, температуры перегрева металлической ванны и т. д. Обычно тигель выдерживает от 100 до 300 плавков.

При индукционной плавке вследствие активного перемешивания расплава металлургическое взаимодействие жидкого чугуна со шлаком, футеровкой и газовой фазой происходит весьма интенсивно. В первую очередь идут различного рода окислительные реакции. Взаимодействие металла с

футеровкой, при котором кремний восстанавливается углеродом расплава, может привести к глубокому разгару стенки тигля и даже к короткому замыканию витков индуктора. В зоне шлакового пояса износ футеровки максимален, здесь часто образуются трудноудаляемые настывы шлака, затрудняющие дальнейшую эксплуатацию тигля. Все это предопределяет необходимость постоянного контроля режима плавки, качества шихты, состояния футеровки тигля и т. д.

Одним из наиболее важных этапов плавки, особенно при получении синтетического чугуна на базе шихты из стальных отходов, является процесс науглероживания. Наилучшие результаты по степени усвоения в жидком металле (90—95 %) обеспечивает гранулированный графит или электродный порошок (стружка), причем 70 % карбюризатора загружают вместе с шихтой и 30 % — в жидкий чугун после расплавления.

Наиболее совершенным и эффективным процессом как с точки зрения качества получаемого чугуна, так и с экономической точки зрения является дуплекс-процесс. При этом процессе получают чугун в двух последовательно работающих плавильных агрегатах: в первом расплавляют шихту, а во втором жидкий чугун подвергается температурно-временной обработке, и при необходимости проводится доводка химического состава. В качестве первичных агрегатов обычно используют вагранку или индукционную тигельную печь, а вторичного — канальную индукционную, тигельную или дуговую печь.

Канальная индукционная печь (рис. 91, б) установлена на опорах 8 и состоит из металлического кожуха 3, футеровки 2 и закрывается сверху крышкой 1. Принцип действия печи основан на использовании тока короткого замыкания. Трансформатор индукционной единицы 9 выполнен таким образом, что петля жидкого металла в канале 5 является вторичной короткозамкнутой обмоткой, разогревающейся при пропускании тока. Заливку металла в печь производят через лётку 10, а слив — через выпускную лётку 6, поворачивая печь с помощью механизма 7. Для охлаждения индукционной единицы служат вентиляторы 4. Канальные печи отличаются от тигельных более высоким КПД, средний удельный расход электроэнергии при перегреве металла ниже на 30—40 %.

Для плавки и выдержки чугуна дуговые электропечи прямого нагрева, в отличие от индукционных, используют значительно реже, хотя они имеют ряд преимуществ: высокий КПД при расплавлении, возможность проведения металлургических процессов в восстановительной и нейтральной атмосферах (что часто необходимо при получении высокопрочного чугуна), большая производительность. Однако эти печи имеют и существенные недостатки: низкий КПД при перегреве, значительный шум, выделение дыма при работе, большой угар элементов.

Экспресс-контроль чугуна при плавке и разливке. Температуру жидкого металла чаще всего контролируют оптическими пирометрами, однако точность показаний при этом зависит от квалификации оператора и наличия шлака или дыма у поверхности расплава. Наиболее

точную оценку температуры обеспечивают контактные методы с использованием термопар погружения.

Склонность чугуна к отбелу определяют просто и быстро. Для анализа заливают клиновые пробы или пробы на кокиль и измеряют глубину отбеленного слоя.

Химический анализ чугуна в небольших литейных цехах выполняется традиционными аналитическими, спектральными и физическими методами контроля. В условиях крупномасштабного производства целесообразно применять многоканальные автоматические спектрографы, позволяющие за 1—3 мин определить содержание всех основных, легирующих элементов и примесей.

Для оперативной корректировки технологии плавки и разливки существуют методы экспресс-контроля чугуна непосредственно у плавильного агрегата. Для термоэлектрического экспресс-анализа содержания кремния заливают небольшой образец, который затем помещают в прибор между холодным и горячим контактными электродами. Полученная разность температур преобразуется в электродвижущую силу, величина которой пропорциональна содержанию кремния. Продолжительность анализа 5—8 мин.

Более универсальным является термический анализ жидкого металла по кривым охлаждения. Метод состоит в непрерывном замере температуры при охлаждении пробы жидкого чугуна, залитого в специальный тигель с термоэлементом, и вычерчивании кривой. Углеродный эквивалент и содержание углерода и кремния определяют по температурным остановкам, соответствующим температурам ликвидуса и солидуса сплава.

СТАЛЬНЫЕ ОТЛИВКИ

Литейные стали так же, как и чугуны, являются многокомпонентными железоуглеродистыми сплавами, содержание углерода в которых ограничивается 2 %. Однако в большей части промышленных марок концентрация углерода составляет десятые и сотые доли процента.

Наряду с С в сталях присутствуют Mn, Si, Al, S, P, N, H, O и другие элементы, попавшие в нее из шихтовых материалов, атмосферы печного пространства или введенные по технологическим соображениям в процессе выплавки. Легирующие элементы добавляют для придания сплавам особых физических, физико-химических свойств или повышения их механических характеристик. Это чаще всего Cr, Ni, Mo, V, W, Ti, B, а также Mn и Si в количествах, превышающих потребности раскисления. Сталь может содержать также случайные примеси, количество которых ограничивается соответствующими стандартами. В углеродистых (нелегированных) сталях случайными примесями являются Cr, Ni, Cu и др.

Сталь как литейный сплав начали применять значительно позже чугуна, после создания плавильных печей, обеспечивших возможность ее расплавления и перегрева. Производство отливок из стали по темпам роста значительно опережало другие отрасли литейного производства как в годы предвоенных, так и послевоенных пятилеток (индустриализация, восстановление промышленных предприятий). Наша промышленность выпускает отливки массой от нескольких граммов до сотен тонн. Сталь широко применяют, прежде всего, для деталей, которые наряду с высокой прочностью должны обладать хорошими пластическими свойствами, быть надежными и долговечными в эксплуатации. Из литой стали изготавливают целый ряд ответственных деталей для атомных энергетических установок. Чем ответственнее назначение машины и тяжелее условия, в которых она работает, тем значительнее доля стальных отливок, идущих на ее изготовление.

КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Стальные отливки можно классифицировать по химическому составу, структуре, назначению, способу выплавки стали.

По химическому составу отливки подразделяют на четыре класса:

- 1) из нелегированной (углеродистой) стали;
- 2) из низколегированной стали (суммарное содержание легирующих элементов ~ 2,5 %);
- 3) из среднелегированной стали с содержанием 2,5—10 % легирующих элементов;
- 4) из высоколегированной стали с содержанием легирующих элементов более 10 %.

По структуре целесообразно отдельно классифицировать нелегированные и легированные стали, так как одинаковые структурные составляющие в зависимости от количества растворенного в них легирующего элемента обладают различными свойствами. Отливки из углеродистой стали могут иметь

ферритную и перлитную структуры и относиться соответственно к ферритному и перлитному классам. Следует отметить, что в реальных сплавах (даже низкоуглеродистых) чисто ферритной структуры не наблюдается. По границам зерен феррита выпадает третичный цементит. В заэвтектоидных углеродистых сталях наряду с перлитом выделяется вторичный цементит.

Отливки из высоколегированных сталей по структуре делят на шесть классов.

По назначению или служебным свойствам стальные отливки подразделяют на две большие группы:

отливки из конструкционной стали изготавливают преимущественно из углеродистых и низколегированных сплавов; основными характеристиками отливок этой группы являются механические свойства;

отливки из сталей со специальными физическими, химическими, физико-химическими и другими свойствами (жаропрочные, жаростойкие, коррозионно-стойкие, износостойкие, кавитационностойкие и др.); определяющими характеристиками отливок данной группы являются их специальные свойства.

По способу выплавки различают стали, полученные в печах с кислой и с основной футеровками. Многие нелегированные (углеродистые) и значительную часть низколегированных сталей выплавляют в кислых печах, а средне- и высоколегированные сплавы—в основных печах. Основной процесс выплавки необходим для приготовления стали с низким содержанием серы и фосфора.

Для выплавки литейных сталей на практике широко применяют следующие плавильные агрегаты:

1. кислые и основные дуговые печи (сейчас в них выплавляют более 90 % литейных сталей для изготовления самых разнообразных по массе и конфигурации отливок в цехах массового и мелкосерийного производства);

2. кислые и основные индукционные печи (в цехах, выпускающих мелкие отливки различного назначения);

3. кислые и основные мартеновские печи (в старых цехах, : при реконструкции их заменяют электропечами);

4. установки электрошлакового переплава (в цехах, выпускающих особо ответственные отливки специального назначения);

5. конверторы с верхним кислородным дутьем (для производства крупных отливок преимущественно на металлургических заводах)

Иногда используют комбинированные процессы выплавки стали: последовательно в двух или трех агрегатах.

В последние годы в литейном производстве, как и в черной металлургии, расширяется применение технологии выплавки, предусматривающей проведение некоторых операций вне печи (в ковше).

2. ОТЛИВКИ ИЗ НЕЛЕГИРОВАННОЙ (УГЛЕРОДИСТОЙ) СТАЛИ

Из нелегированной стали изготавливают около 2/3 стальных отливок. По технологическим (литейным) свойствам углеродистая сталь уступает чугуну, тем не менее из нее можно получать сложные отливки, разнообразные по

конструкции, размерам, массе, толщине стенок. Литая углеродистая сталь после термической обработки обладает высокими механическими свойствами.

В зависимости от содержания углерода сталь делят на низкоуглеродистую (до 0,2 % С), среднеуглеродистую (0,2—0,45 % С), высокоуглеродистую (более 0,45 % С). Углерод является основным элементом, определяющим механические свойства углеродистых сталей. Увеличение содержания углерода повышает прочность и снижает пластичность (рис. 92). Такое изменение свойств связано с тем, что по мере увеличения концентрации углерода в структуре возрастает количество перлита — более прочной, но менее пластичной, чем феррит, составляющей.

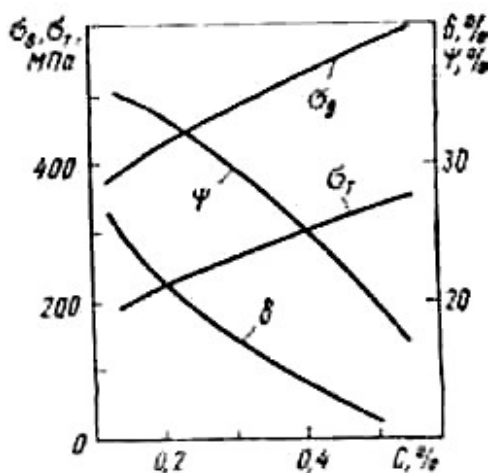


Рис. 92. Влияние углерода на механические свойства литейной конструкционной нелегированной стали (после нормализации)

Для углеродистой стали, как для конструкционного материала, важной характеристикой является отношение предела текучести σ_t к временному сопротивлению σ_b , выраженное в процентах. С увеличением концентрации углерода σ_t увеличивается менее интенсивно, чем σ_b , поэтому в конструкциях наибольшее распространение получили отливки из среднеуглеродистой стали. В большинстве случаев содержание углерода выше 0,45 % только с целью обеспечения специальных свойств отливок. Стали с высоким содержанием углерода относят иногда к группе специальных высокоуглеродистых сталей. Низкое содержание углерода (менее 0,1 %) требуется также при необходимости получения отливок со специальными свойствами.

В ГОСТ 977 включено девять марок нелегированной конструкционной стали, отличающихся содержанием углерода. По качественным показателям, устанавливаемым в зависимости от назначения и предъявляемых требований, отливки подразделяют на три группы:

I — отливки общего назначения; контролируют их внешний вид и размеры, химический состав сплава;

II — отливки ответственного назначения; дополнительно контролируют прочность (σ_t или σ_b) и относительное удлинение (δ);

III — отливки особо ответственного назначения: дополнительно контролируют ударную вязкость. С учетом группы качества отливки марку стали обозначают: сталь 35Л-III.

Углеродистая сталь всех марок содержит кремний и марганец, которые вводят главным образом для раскисления, а марганец и для нейтрализации вредного действия серы. Существенного влияния на механические свойства они не оказывают.

Содержание серы в основной и кислой стали для отливок III группы качества ограничивается соответственно 0,045 % и 0,05 %, а фосфора — 0,04 % и 0,05 %. Во всех случаях серу и фосфор желательно иметь в минимальном количестве. Сера усиливает красноломкость стали, склонность ее к образованию горячих трещин. Для отливок сложной конфигурации и для толстостенных отливок, в которых в результате ликвации возможно местное увеличение концентрации серы, целесообразно ограничивать ее содержание 0,035 %. Фосфор понижает пластичность стали при нормальной и низких температурах, входя в раствор с Fe_α и образуя по границам зерен фосфидную эвтектику. Вредное влияние фосфора особенно резко проявляется в сталях с повышенным содержанием углерода. Учитывая возможность ликвации, для особо ответственных и массивных отливок желательно ограничить содержание фосфора 0,03 %.

Механические свойства: стали определяют на образцах, вырезанных из: пробных брусков, которые отливают в середине разливки плавки: и подвергают термообработке совместно с отливками данной партии. Свойства стали отливок, самые тонкие стенки которых имеют толщину более 100 мм, устанавливают согласно особым техническим условиям.

Из низкоуглеродистых литейных сталей изготавливают детали, которые должны обладать высокой пластичностью. Однако такие стали недостаточно тверды даже после закалки, поэтому для обеспечения их долговечности целесообразно проводить цементацию или другую химико-термическую обработку с последующей закалкой и отпуском. Из низкоуглеродистой (магнитомягкой) стали получают отливки деталей электродвигателей и т. п.

Высокоуглеродистые стали; предназначены для отливок, работающих в абразивной среде без ударов.

Особенности изготовления отливок. Изготавливать стальные отливки более сложно и трудоемко, чем; отливки из серого чугуна. Специфические условия сталелитейного производства обусловлены способами выплавки и литейными свойствами стали.

Жидкотекучесть углеродистой стали в среднем в 2 раза меньше жидкотекучести серых чугунов. Пределы доступного регулирования жидкотекучести более узки, и проводить это регулирование сложно. Низкая жидкотекучесть стали объясняется относительно высокими вязкостью и поверхностным натяжением при температурах разливки, а также значительно меньшим перегревом.

Жидкотекучесть углеродистой стали в значительной мере определяется содержанием в ней углерода. При повышении содержания углерода практическая жидкотекучесть (при одинаковой температуре заливки)

возрастает. Это вызвано, прежде всего увеличением относительного перегрева над температурой ликвидуса. Расширение же интервала кристаллизации с увеличением содержания углерода оказывает менее сильное противоположное влияние.

Истинная жидкотекучесть (при одинаковом перегреве над температурой нулевой жидкотекучести $t_{н. ж.}$) понижается с увеличением содержания углерода, так как перегрев над температурой ликвидуса уменьшается и жидкотекучесть все больше определяется состоянием сплава в интервале кристаллизации (рис. 93).

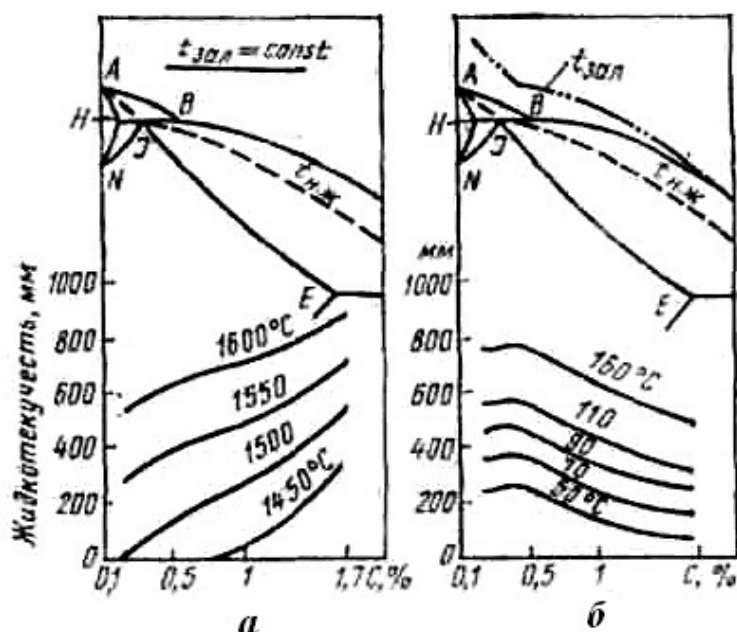


Рис. 93. Влияние углерода на практическую (а) и истинную (б) жидкотекучесть стали

Марганец и кремний (в пределах их обычного содержания) не изменяют заметно интервал кристаллизации, вязкость и другие свойства стали, поэтому их влияние на жидкотекучесть также несущественно. Следует отметить, что жидкотекучесть стали будет тем выше, чем полнее она раскислена.

Как известно, концентрацию серы и фосфора в углеродистой стали для получения высокой прочности и пластичности желательно иметь минимальной, а в допустимых пределах их практическое влияние на жидкотекучесть не обнаруживается.

На жидкотекучесть отрицательно влияют тугоплавкие неметаллические включения, попавшие в сталь в период выплавки, а особенно раскисления.

Первичная кристаллизация, обуславливая структуру отливки, во многом определяет ее свойства. Характер первичной кристаллизации зависит от свойств сплава и условий производства отливки. Существенное влияние оказывает концентрация углерода.

Наибольшей склонностью к образованию обширной зоны столбчатых кристаллов обладают стали, содержащие ~0,2 % С. По мере увеличения концентрации углерода (до 0,8 % С) уменьшается зона транскристаллизации, что объясняется главным образом влиянием углерода на интервал кристаллизации сплава и его теплофизические свойства. Протяженность по

сечению отливки зоны двухфазного состояния с повышением концентрации углерода возрастает (рис. 94). Изменением перегрева стали, температуры заливаемого сплава, скорости охлаждения, а также модифицированием можно регулировать первичную структуру стальных отливок.

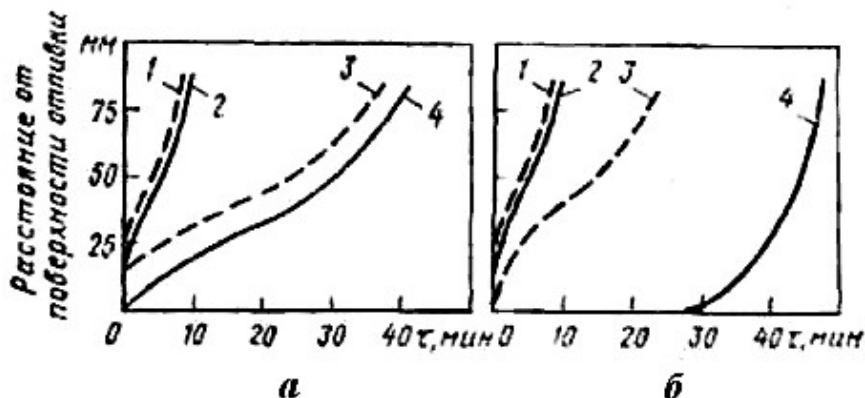


Рис. 94. Кинетика продвижения изоликвидуса (1, 3) и изосolidуса (2, 4) при затвердевании в сырых песчаных (3, 4) и металлических (1, 2) формах стали с содержанием углерода, %: а — 0,1; б — 0,6

Следует отметить, что высокие перегрев и температура заливаемой стали вызывают огрубление структуры, поэтому их верхний уровень определяют, как правило, только исходя из условий заполнения всей полости литейной формы. В этом существенное отличие влияния температурно-временных факторов на свойства стальных и чугунных отливок.

Усадка стали в отливке складывается из уменьшения объема в жидком состоянии при охлаждении от $t_{\text{зал}}$ до $t_{\text{л}}$, из уменьшения объема в интервале ($t_{\text{л}}$ — $t_{\text{с}}$) при изменении агрегатного состояния и, наконец, из изменения объема при охлаждении затвердевшей стали от температуры конца затвердевания до нормальной температуры (рис. 95). О развитии усадки углеродистой стали (0,35 % С) в различных температурных интервалах можно судить по изменению величины удельного объема этого сплава.

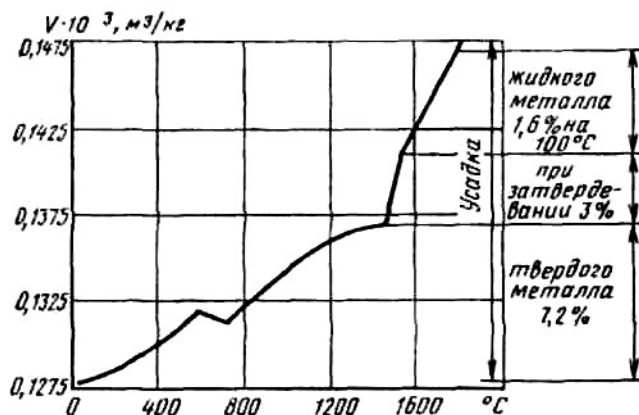


Рис. 95. Изменение удельного объема нелегированной (0,35 % С.) стали, залитой при 1725 °С, в процессе охлаждения (по данным Ю. А. Нехендзи)

Усадка в жидком состоянии определяется коэффициентом объемного сжатия $\beta_{\text{ж}}$ и величиной перегрева над температурой плавления. Для углеродистой стали в жидком состоянии коэффициент $\beta_{\text{ж}} = 1,5 \cdot 10^{-4}$. Этот коэффициент увеличивается на 20 % при повышении содержания углерода на 1 %. Марганец, кремний, сера и фосфор заметно не влияют на коэффициент термического сжатия углеродистой стали.

Изменение объема стали при затвердевании определяется сжатием при переходе в твердое состояние и усадкой в температурном интервале ($t_{\text{л}} - t_{\text{с}}$). С повышением содержания углерода увеличивается интервал кристаллизации, а следовательно, возрастает и усадка

Содержание углерода, %.....0,1.....0,35.....0,45.....0,7
Сокращение объема стали при затвердевании, %.....2.....3.....4,3.....5,3

Усадка стали в твердом состоянии складывается из доперлитной усадки в интервале ($t_{\text{с}} - t_{\gamma \rightarrow \alpha}$), расширения при фазовом $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении и послеперлитной усадки при дальнейшем охлаждении.

Суммарное сокращение объема в твердом состоянии составляет 7,2—7,5 %, а линейных размеров — 2,4—2,5 % (свободная линейная усадка).

С повышением содержания углерода линейная усадка в твердом состоянии уменьшается главным образом за счет уменьшения доперлитной усадки (табл. 19). Исключение составляют стали, содержащие ~0,18 % С. Повышенная усадка в этом случае объясняется резким сокращением объема при перитектической реакции ($\delta \rightarrow \gamma$). Снижение доперлитной усадки вызвано уменьшением температурного интервала усадки ($t_{\text{с}} - t_{\gamma \rightarrow \alpha}$). Этот фактор имеет решающее значение, и доперлитная усадка снижается несмотря на то, что коэффициент термического сжатия при повышении содержания углерода увеличивается.

Таблица 19

**Зависимость линейной усадки сталей от содержания углерода
(по данным Ю. А. Нехендзи)**

Содержание углерода, %	Линейная усадка, %			Линейное расширение ($\gamma \rightarrow \alpha$), %
	доперлитная	послеперлитная	свободная	
0,08	1,42	1,16	2,47	0,11
0,14	1,52	1,06	2,46	0,11
0,35	1,47	1,04	2,40	0,11
0,45	1,39	1,07	2,35	0,11
0,55	1,35	1,05	2,31	0,09
0,9	1,21	0,98	2,18	0,01

В реальных условиях действительное изменение линейных размеров стальных отливок (литейная усадка) меньше свободной линейной усадки стали. В результате торможения усадки, главным образом доперлитной при высоких

температурах, происходит пластическая деформация, несколько уменьшающая общее изменение размеров.

Литейная усадка тонкостенных отливок сложной конфигурации составляет 1,25—1,5%, толстостенных — 2—2,3%. Даже в условиях торможения литейная усадка обычно не бывает меньше 1 %, иначе в отливках образуются трещины.

Торможение усадки, особенно в высокотемпературной области, если даже оно и не привело к появлению трещин, является причиной заметного снижения пластичности и ударной вязкости в результате появления деформационной пористости. По данным А. М. Михайлова, А. А. Тимофеева и В. В. Требухина, снижение относительного удлинения и ударной вязкости стали 35Л достигает соответственно 40 и 30 %.

Особенности литейных свойств углеродистой стали вызывают необходимость разработки специфической технологии производства фасонных отливок.

Сталь выплавляют в агрегатах периодического действия, т. е. металл выдается через определенные промежутки времени. Емкость плавильных агрегатов для этих условий выбирают с учетом допустимых продолжительности разливки всей плавки и максимального числа открытий стопора ковша при разливке металла по формам. Число открытий стопора, изготовленного из шамотного припаса, составляет в среднем 120. В сталелитейных цехах наиболее распространены печи емкостью 3, 5 и 10 т.

В фасонно-сталелитейных цехах большой мощности, производящих мелкие и средние отливки, при выборе емкости плавильного агрегата учитывают необходимость непрерывной подачи стали на заливочную ветвь конвейера. В этих случаях устанавливают много печей малой емкости, что обеспечивает выдачу металла из разных печей через короткие промежутки времени (не реже 2—3 раз в час). Крановый стопорный ковш часто является промежуточной емкостью, из которой сталь распределяется по раздаточным ковшам. Заливка движущихся на конвейере форм из кранового стопорного ковша невозможна, так как трудно добиться синхронности движения мостового крана и конвейера. Температура стали перед заливкой 1600—1550 °С. В связи с этим к формовочным и стержневым смесям предъявляют высокие требования по огнеупорности. Исходными материалами для смесей являются чистые кварцевые пески и огнеупорные глины. Глинистые пески в сталелитейных цехах, как правило, не применяют. Заливка из стопорного ковша обуславливает значительное действие струи металла на форму, поэтому ее необходимо изготавливать прочной, с большей степенью уплотнения смеси. Худшая по сравнению с другими сплавами жидкотекучесть стали, меньший относительный перегрев требуют увеличения размеров каналов литниковой системы, сокращения ее протяженности. По данным Б. Б. Гуляева, площадь сечения питателей при литье стали должна быть в 1,5—2 раза больше, чем при литье чугуна. В случае изготовления крупных отливок (массой более 10 т) эта разница может увеличиться до 3 раз.

Применение стопорных ковшей позволяет несколько упростить литниковую систему: вместо чаши применяют воронки, не устанавливают фильтровальные

сетки, шлакоуловители, по возможности уменьшают суммарную протяженность каналов. Площади сечения питателя, литникового хода и стояка рекомендуется делать одинаковыми.

Чтобы исключить механическое разрушение стенок литниковых каналов в крупных формах, их изготавливают из огнеупорного сифонного припаса. Конструкция литниковой системы определяется конфигурацией и массой отливки, а также наиболее рациональным местом подвода металла. Для отливок массой до 100 кг применяют преимущественно литниковые системы с боковым подводом металла по разъему формы; для отливок массой 100—500 кг — с боковым и нижним подводом. Формы тяжелых отливок (500 кг и выше) заливают, как правило, через сифонные или ярусные литниковые системы. В зависимости от конфигурации отливки, ее назначения и ответственности металл подводится:

в толстые стенки (лучше в прибыли, так как это повышает коэффициент использования металла прибыли) для создания направленного затвердевания, обеспечивающего получение плотной отливки;

рассредоточенно через большое число литников, чтобы добиться равномерного охлаждения частей отливки и, следовательно, меньших напряжений, что целесообразно при изготовлении тонкостенных протяженных отливок;

к тонким частям, чтобы по возможности выровнять скорости охлаждения частей отливки, склонных к образованию трещин. Для питания массивных частей в этом случае целесообразно использовать прибыли, работающие под избыточным давлением газа или воздуха.

Усадка стали в жидком состоянии и в период кристаллизации, если не принимать специальных мер, вызывает образование усадочных раковин и пористости. Получение плотных отливок обеспечивается установкой прибылей и созданием направленного, последовательного затвердевания. Без прибылей из стали можно изготавливать только малоответственные тонкостенные отливки.

Усадка стали в твердом состоянии может вызвать образование горячих и холодных трещин, коробление отливок, высокие внутренние напряжения и изменение линейных размеров. Горячие трещины в отливках из углеродистой стали являются следствием сильного торможения, главным образом со стороны формы, до-перлитной усадки. Трещины располагаются в наиболее слабых местах, какими являются разогретые участки.

Увеличение содержания углерода (см. табл. 19) уменьшает линейную усадку, особенно доперлитную, что снижает опасность образования горячих трещин. С другой стороны, при охлаждении низкоуглеродистых сталей быстрее увеличивается их прочность. Отливки, испытывающие большое механическое торможение усадки, рекомендуется изготавливать из углеродистой стали с повышенным или очень низким содержанием углерода. Разностенные отливки со значительным термическим торможением усадки целесообразнее получать из низкоуглеродистой стали. Отрицательное влияние на трещиностойкость оказывают сера и неметаллические включения, особенно легкоплавкие. Отмечается большая склонность к образованию трещин кислых сталей.

Основные мероприятия по предотвращению появления горячих трещин заключаются в улучшении технологии изготовления форм, обеспечении хорошей их податливости, выборе конструкции отливки, литниковой системы, в рациональном режиме заливки и охлаждения.

Кроме уменьшения усилий, затрудняющих усадку, образование горячих трещин предупреждают упрочнением слабых мест отливки усадочными ребрами и установкой холодильников. Усадочные ребра воспринимают часть усилий, тем самым разгружают слабое (горячее) место отливки. Холодильники, наружные или внутренние, способствуют более быстрому охлаждению и, следовательно, упрочнению опасного участка отливки.

В области температур ниже 650°C под действием внутренних напряжений или внешних нагрузок в углеродистой стали возникают преимущественно упругие деформации. При охлаждении отливки происходит дальнейшее изменение ее линейных размеров в результате фазового $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения и послеперлитной усадки. Всякое препятствие развитию усадки вызывает образование внутренних напряжений, которые могут привести к короблению отливки или образованию холодных трещин. Металл в этом случае разрушается не по границам зерен, а по самим зернам. Поверхности трещин не окисляются.

Наибольшей склонностью к образованию холодных трещин обладают отливки из высокоуглеродистых сталей. Повышение содержания углерода вызывает увеличение среднего коэффициента термического сжатия. Например, коэффициент термического сжатия стали с 0,14 % C равен $14,5 \cdot 10^{-6}$, стали с 0,45 %C — $16,1 \cdot 10^{-6}$. Высокоуглеродистые стали менее теплопроводны, чем низкоуглеродистые, что обуславливает больший перепад температур по се-

чению отливки и между отдельными ее частями. Таким образом, из-за увеличения термических напряжений с повышением содержания углерода увеличивается и опасность образования холодных трещин.

3. ОТЛИВКИ ИЗ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Легирование стали является одним из средств увеличения надежности, долговечности и снижения массы литых деталей, а также придания им специальных свойств. Выбор легирующих элементов обуславливается главным образом назначением отливки, ее конструктивными и технологическими особенностями.

Элементы, используемые для легирования стали, классифицируют по строению кристаллической решетки, влиянию на температуру полиморфных превращений и отношению к углероду.

По строению кристаллической решетки легирующие элементы подразделяют на три группы. В первую группу входят хром, вольфрам, молибден с объемно-центрированной кубической решеткой и кремний, который имеет сложную кубическую решетку.

Ко второй группе относятся никель, медь, алюминий с гранецентрированной кубической решеткой и марганец со сложной решеткой.

Элементы с гексагональной решеткой — титан, кобальт, бериллий и некоторые редкоземельные металлы составляют третью группу.

Классификация по этому признаку дает возможность судить о растворимости элементов в железе той или иной модификации, о влиянии элемента на свойства твердого раствора. Растворимость элементов определяется типом и параметрами кристаллической решетки. Неограниченной растворимостью в железе обладают элементы, атомный радиус которых отличается от атомного радиуса железа не более чем на 8 % и имеющие однотипную с ним решетку. Другие элементы растворимы ограниченно или нерастворимы. Чем больше отличаются решетки и атомные радиусы легирующего элемента и железа, тем больше прочность образуемого твердого раствора. Элементы, атомный радиус которых близок к атомному радиусу железа, дают более пластичные растворы.

Под влиянием легирующих элементов значительно изменяются температуры полиморфных превращений. Элементы Ni, Mn, C, Co, N, Cu расширяют область устойчивости аустенита, под влиянием этих элементов повышается температура A_4 и снижается A_3 . Элементы Cr, Si, Al, W, V, Mo, Ti, Be замыкают область γ , снижая точку A_4 и повышая A_3 . При определенных концентрациях легирующего элемента образуются ферритные сплавы. Эти элементы можно разделить на элементы, образующие сплавы со структурой неограниченного гомогенного твердого раствора, и элементы, образующие сплавы, область гомогенности которых ограничена вследствие появления новых фаз.

По отношению к углероду легирующие элементы подразделяют на карбидообразующие и графитизирующие.

Легирующие элементы вызывают образование новых структурных составляющих и изменение свойств существующих фаз. Введением в сталь определенных элементов в строго заданных количествах можно добиться значительного улучшения имеющихся свойств или получения специальных свойств.

Отливки из низколегированных конструкционных сталей. Легирование позволяет значительно повысить механические свойства литейных сталей, особенно после специальных видов термической обработки. Как правило, эти стали характеризуются более высоким значением σ_T/σ_B (до 70 %), чем углеродистые.

В ГОСТ 977 наряду с 9 марками нелегированных сталей включена 21 марка низколегированных. Целый ряд марок конструкционных сталей регламентирован отраслевыми стандартами.

Наибольшее распространение получили стали, легированные кремнием, марганцем, хромом, никелем, ванадием, молибденом, медью в различных комбинациях и соотношениях.

Кремний растворяется в феррите и цементите. Образую раствор, кремний упрочняет феррит и повышает его твердость. При малых концентрациях кремния (до 1 %) не уменьшается и пластичность феррита. Свойства и область применения сталей, легированных кремнием, в большой степени определяются содержанием углерода. Наиболее широко используют низкоуглеродистую кремнистую сталь (0,1—0,2 % C; 1 % Si), высокоуглеродистую кремнистую

сталь (0,4—0,5 % C; 1,4—1,6 % Si), графитизированную сталь (1,25—1,50 % C; 1—1,35 % Si).

Низкоуглеродистая кремнистая сталь характеризуется более высокими пластическими свойствами (в 1,5 раза), чем равнопрочная нелегированная. Эти свойства определяют ее применение для отливки эксцентриков, шестерен и деталей, работающих в условиях динамических нагрузок.

Высокоуглеродистая кремнистая сталь обладает большей износостойкостью, но невысокой пластичностью. Из нее изготавливают катки мостовых кранов, шестерни мельниц и детали, работающие в пыльной среде.

Графитизированная сталь сочетает свойства чугуна и стали. В литом состоянии структура состоит из крупнопластинчатого перлита и игольчатого цементита. Вид термической обработки выбирают в зависимости от назначения отливки. Штампы, фильеры и детали, от которых требуется высокая твердость, подвергают низкотемпературному отжигу (~700 °C) для снятия напряжений, сфероидизации вторичного цементита и частичного его распада. Степень графитизации при этом минимальна. Отливки, от которых требуются высокие антифрикционные свойства, подвергаются высокотемпературному отжигу (~1000°C) с целью разложения цементита. Для повышения механических свойств иногда после графитизирующего отжига проводят закалку с отпуском.

Марганец является элементом, расширяющим область γ -твердого раствора. Основными элементами, определяющими свойства низколегированных марганцовистых сталей, являются марганец и углерод. Образуя твердый раствор замещения, марганец упрочняет феррит, но основное влияние на повышение прочности оказывают более устойчивые, чем цементит, сложные карбиды $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$.

Содержание углерода и марганца выбирают в зависимости от требуемого соотношения прочности и пластичности. Чем ниже требуемая прочность и выше пластичность, тем больше должно быть в стали марганца и меньше углерода. Низколегированную марганцовистую сталь для фасонных отливок подразделяют на низкоуглеродистую (0,15—0,25 % C; 1,2—1,6 % Mn), среднеуглеродистую (0,3—0,4 % C; 1,1—1,9 % Mn) и повышенной прочности (до 0,4 % C; 1,05—2,0 % Mn). В зависимости от соотношения углерода и марганца, а также от требуемых свойств отливки подвергают закалке или нормализации с отпуском. Из низколегированных марганцовистых сталей изготавливают отливки, испытывающие значительный износ, ударные и переменные нагрузки. Это детали для железнодорожного транспорта, экскаваторов и др. В ГОСТ 977 группа марганцовистых сталей представлена марками 20ГЛ и 35ГЛ.

Никель расширяет аустенитную область, образует с железом твердые растворы и не дает карбидов. Упрочняющее действие никеля в низколегированной стали заключается в повышении прочности феррита при одновременном сохранении пластичности. Никель понижает температуру мартенситного превращения, увеличивает прокаливаемость стали. Наиболее распространенная низколегированная никелевая сталь содержит 0,2—0,4 % C и до 2 % Ni. Никелевая сталь обладает повышенной ударной вязкостью даже при

низких температурах, равномерностью свойств по сечению отливки. Отливки из никелевой стали с низким содержанием углерода иногда подвергают химико-термической обработке для упрочнения поверхности. С повышением содержания углерода возрастает прочность, но снижается пластичность. Из низколегированных никелевых сталей изготавливают отливки для прокатных станов, горно-обогачительного оборудования, судов, локомотивов.

Хром повышает устойчивость феррита, образует прочные карбиды; замещая частично железо в цементите, значительно повышает его устойчивость. Свойства хромистой конструкционной стали определяются как содержанием хрома, так и углерода. Повышение прочности хромистых сталей объясняется главным образом блокированием плоскостей скольжения карбидами $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$, а также измельчением зерна. Хром значительно повышает прокаливаемость стали.

Отливки получают из низколегированных хромистых сталей с 0,35—0,60 % С и до 2 % Cr. Стали с низким содержанием углерода наряду с высокой прочностью имеют удовлетворительную пластичность. С повышением содержания углерода пластичность сильно падает, и такие стали можно применять для отливок, подвергающихся повышенному износу при отсутствии ударных нагрузок.

Ванадий. Объем производства отливок из ванадиевых сталей в последние годы непрерывно увеличивается. Применение ванадия в небольших количествах (~0,1 %) в несколько раз более эффективно, чем применение таких же количеств Mn, Si, Cr, Ni и др.

Ванадий образует прочный карбид VC, который существует наряду с цементитом. Мелкодисперсный карбид VC выделяется при охлаждении из аустенита, выполняя роль упрочняющей фазы. Оказывая заметное упрочняющее влияние, этот карбид практически не снижает пластичность, трещиностойкость, свариваемость сталей.

Более часто используют конструкционные стали, легированные несколькими элементами одновременно. В этом случае легче достигается оптимальное сочетание прочности и пластичности. Сложнолегированные стали применяются для изготовления сложных высоконагруженных отливок.

Наиболее распространенными из них являются стали 30ГСЛ, 35ХГСЛ (хромансиль), 35ХМЛ, 35НГМЛ, 30ХНМЛ, 08ГДНФЛ и др. Молибденсодержащие стали характеризуются меньшей отпускной хрупкостью, лучшей прокаливаемостью.

В технической литературе приводятся примеры сложнолегированных конструкционных литейных сталей, имеющих в своем составе более десятка легирующих элементов. Предел текучести некоторых из них достигает 1800 МПа при относительном удлинении ~15 %.

Отливки из высоколегированных сталей со специальными свойствами. Среди высоколегированных сталей, применяемых для изготовления фасонных отливок, наибольшее распространение получили износостойкие стали 110Г13Л, 120Г13Х2БЛ, 130Г14ХМФАЛ (ГОСТ 2176), а среди них, в свою очередь, сталь 110Г13Л. По структуре она относится к аустенитному классу. Устойчивая

аустенитная структура образуется в Fe—Mn—C-сплавах, содержащих 1—1,3 % C и 9—15 % Mn. Медленно охлажденные сплавы этого состава состоят из аустенита и карбидной фазы переменного состава (Fe, Mn)₃C. Аустенит представляет собой твердый раствор замещения марганца в железе, в котором углерод находится между узлами кристаллической решетки. Отливки подвергают закалке: нагрев до 1050—1100 °C и охлаждение в холодной воде. После термической обработки сталь 110Г13Л немагнитна, приобретает высокие свойства: $\sigma_b = 800 \div 1000$ МПа; $\sigma_T = 250 \div 400$ МПа; $\sigma_T/\sigma_b = 30 \div 40\%$; $\delta = 40 \div 55\%$; $\psi = 35 \div 45\%$; KCU = 2000 ÷ 3000 кДж/м²; 180—220 HB.

Уникальным свойством стали является высокое сопротивление износу при работе в условиях ударных или высоких статических нагрузок, когда сталь наклепывается и твердость ее возрастает до 600 HB. Упрочнение стали при наклепе вызывается дроблением зерна аустенита, выпадением дисперсных карбидов, а также превращением аустенита в мартенсит по плоскостям сдвигов. Склон-юность к наклепу делает эту сталь труднообрабатываемой. Специфические свойства стали 110Г13Л определили практическую область ее применения. Из этой стали отливают сердечники стрелочных переводов и крестовины трамвайных путей, сменные детали щековых и конусных дробилок, экскаваторов и многих других машин.

Стандарт допускает значительные колебания химического состава, %: 11,5—15 Mn; 0,9—1,4 C; 0,3—1 Si; до 0,12 P; до 0,05 S. Химический состав зависит от назначения, типа и специфических требований, предъявляемых к изделиям. Для стали 110Г13Л оптимально отношение Mn/C = 10. Повышение содержания углерода уменьшает пластичность, а понижение — износостойкость. Увеличение содержания кремния, желательное для повышения износостойкости, но вызывает образование трещин. Фосфор и сера отрицательно влияют на эксплуатационные и технологические свойства, поэтому их содержание должно быть минимальным.

Необычно высокое содержание фосфора (до 0,12 %) обусловлено тем, что он вносится в сталь на заключительном этапе плавки легирующей дозой ферромарганца, в обычных сортах которого концентрация фосфора составляет 0,35—0,55 %. Ю. А. Шульте с сотрудниками доказал чрезвычайно вредное влияние этой примеси, особенно на пластические свойства. Так, каждая 0,01 % фосфора в пределах марочного состава снижает ударную вязкость на 0,3 мДж/м², относительное удлинение на 1 %. Применение для выплавки стали ферромарганца с низким содержанием фосфора при изготовлении особо ответственных отливок следует признать необходимым.

Сталь 110Г13Л можно выплавлять в дуговых и мартеновских печах. В зависимости от конкретных условий производства (наличия плавильных агрегатов, шихтовых материалов) и требований, предъявляемых к качеству отливок, высокомарганцовистую сталь можно получать из свежих материалов в основных дуговых или мартеновских печах, переплавом отходов производства и лома этой стали в тех же печах, заливкой низкоуглеродистой перегретой стали в ковш с разогретым кусковым ферромарганцем, смешением в ковше низкоуглеродистой стали с расплавленным ферромарганцем.

В СССР сталь 110Г13Л выплавляли преимущественно в дуговых печах с основной футеровкой. При выплавке стали из свежих материалов шихту составляют из отходов углеродистой стали и перепельного чугуна в соотношении, обеспечивающем получение ~0,4 % С после расплавления. В качестве шлакообразующего материала в завалку вводят известь.

Процесс плавки состоит как бы из двух этапов: получения низкоуглеродистой стали с 0,1—0,15 % С и легирования этой стали марганцем. После расплавления при нормальном содержании углерода (~ 0,4 %) проводят кипение металла с помощью железной руды или газообразного кислорода.

В случае использования низкоуглеродистой шихты, когда в ванне после расплавления содержание углерода не превышает 0,15 %, а фосфора 0,03 %, перепельный чугун не добавляют, кипение не проводят. После разогрева ванны удаляют окислительный шлак и осуществляют раскисление. Однако сталь, полученная без окисления, менее качественна.

После удаления окислительного шлака проводят предварительное раскисление силикомарганцем или ферромарганцем и ферросилицием. Затем загружают флюсы (известь, плавиковый шпат, молотый кокс и дробленый ферросилиций) для образования белого шлака и перемешивают ванну. Ферромарганец для легирования вводят в три-четыре приема. В печи под белым шлаком протекает диффузионное раскисление; сталь очищается от оксида марганца, отрицательно влияющего на ее эксплуатационные и технологические свойства. Содержание оксида железа в шлаке перед выпуском не должно превышать 1 %. Окончательное раскисление стали проводят на желобе печи алюминием (0,5—0,8 кг алюминия на 1 т металла).

В крупных сталелитейных цехах, специализирующихся на выпуске отливок из стали 110Г13Л, а также получающих стальной лом этой марки, часто применяют метод переплава. В этом случае шихту составляют на 90 % из отходов производства и лома и не более чем на 10 % из низкоуглеродистой стали или же на 100 % из отходов производства. В качестве шлакообразующего материала используют известь, вводя ее при завалке и в период расплавления. После расплавления проводят предварительное раскисление ванны кусковым ферросилицием. Затем в печь подают смесь извести, плавикового шпата, дробленого ферросилиция; в дальнейшем вместо ферросилиция используют молотый кокс. Сталь до заданного состава по марганцу доводят за 10—15 мин до ее выпуска. Продолжительность выдержки под белым шлаком и требования к шлаку остаются теми же, что и при выплавке стали из свежих материалов.

В случае отсутствия основных печей сталь 110Г13Л можно получить методом смешения электростали (<0,15 % С; <0,06 % Р), выпускаемой при 1600 °С в ковш с разогретым кусковым ферромарганцем. Ковш с ферромарганцем нагревают до 800 °С форсункой. При смешении достигается достаточно полное и быстрое выравнивание концентрации марганца по всему объему стали.

Сталь 110Г13Л может быть также получена смешением в ковше низкоуглеродистой стали, полученной в любом плавильном агрегате, с расплавленным (например, в вагранке) ферромарганцем. Качество стали,

полученной этими методами, значительно ниже, чем выплавленной из свежих материалов или переплавом.

Особенности технологического процесса получения отливок из стали 110Г13Л определяются специфическими свойствами этого сплава. Интервал его затвердевания 1400—1340 °С, поверхностное натяжение ниже, чем углеродистой стали, в 1,5 раза. Высокомарганцовистая сталь по сравнению с углеродистой характеризуется большим коэффициентом термического сжатия (в 2 раза) и меньшей (в 2 раза) теплопроводностью. Низкая теплопроводность стали делает невозможной сквозную закалку стенок отливок толще 120 мм. Кроме этого, в толстом сечении металл имеет пониженные свойства вследствие сильной транскристаллизации и ликвации углерода, фосфора и серы, поэтому толщина стенок отливки должна быть не более 120 мм.

Высокомарганцовистая сталь из-за присутствия оксида марганца агрессивна по отношению к шамотной футеровке ковша и песчаной форме, поэтому целесообразно применять магнезитовые или графитовые пробки и стаканы сифонного припаса. Во избежание формирования трудноотделимого пригара песчаные формы без покрытий можно применять только при изготовлении тонкостенных отливок. Полость форм средних и крупных отливок целесообразно облицовывать составами из основных огнеупорных материалов (магнезит, хромомагнезит) или наносить на поверхность полости покрытия.

Несмотря на высокую жидкотекучесть стали 110Г13Л, разливку ее по формам необходимо проводить с большой скоростью, чтобы исключить значительное окисление. Получение однородных свойств стали во всех отливках предопределяет необходимость разливки всей плавки за короткое время в узком интервале температур и при невысоком перегреве (1420—1500 °С). По данным Ю. А. Шульте, повышение температуры заливаемой в форму стали от 1414 до 1530 °С приводит к снижению σ_b , δ и КСУ соответственно от 800 до 570 МПа, от 32,5 до 17,4 % и от 2400 до 1230 кДж/м². Такое изменение связано, прежде всего с укрупнением аустенитных зерен, т. е. с огрублением структуры.

Принимая во внимание повышенную литейную усадку стали, в состав формовочных смесей часто вводят опилки, применяют оболочковые стержни, т. е. делают все возможное для увеличения податливости формы. Значительная усадка, интенсивное развитие ее в интервале, близком к температуре кристаллизации, низкая прочность и пластичность при высоких температурах обуславливают большую склонность стали 110Г13Л к трещинообразованию. Для борьбы с горячими трещинами, кроме увеличения податливости формы, целесообразно снижать до минимума содержание кремния, фосфора и серы, уменьшать окисленность металла, упрочнять слабые места холодильниками и усадочными ребрами. Из-за низкой теплопроводности и высокого коэффициента термического сжатия в отливках возникают большие термические напряжения, которые вместе с повышенной хрупкостью (в литом состоянии благодаря присутствию карбидов) часто являются причиной образования холодных трещин. Для борьбы с холодными трещинами

используют различные способы выравнивания скоростей охлаждения отдельных узлов отливки.

Режим охлаждения отливки в области высоких температур (950—500 °С) обуславливает количество и размер карбидов, выпадающих из аустенита ввиду снижения растворимости в нем углерода. По данным А. М. Михайлова, В. Б. Беловодского и К. И. Красикова, ускорение охлаждения в интервале интенсивного выделения карбидов позволяет получить более благоприятную литую структуру (мельче карбиды и меньшее их количество). Такое изменение литой структуры в свою очередь дает возможность осуществлять форсированный нагрев отливок под закалку, сокращать продолжительность всего цикла (нагрев и выдержку), добиваться повышения плотности стали. Последнее обстоятельство связано с тем, что карбидная фаза $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ по сравнению с аустенитом характеризуется большим значением удельного объема, поэтому растворение карбидов в процессе термообработки приводит к возникновению пористости (рис. 96).

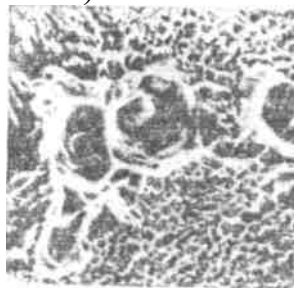


Рис. 96. Фрактограмма излома образца закаленной стали 110Г13Л

Реализация оптимального (ускоренного) охлаждения отливок сердечников стрелочных переводов позволила повысить пластичность стали, ее стабильность и долговечность отливки.

Для получения высоких пластических, прочностных свойств (обеспечения однофазной аустенитной структуры) все отливки подвергают закалке в холодной проточной воде. Исправление дефектов заваркой производят после закалки отливки, в нагретом состоянии. Заваренную отливку подвергают повторной закалке.

Отливки из коррозионно-стойких сталей. Высоколегированные хромистые, хромоникелевые и никельхромистые стали часто (для улучшения их свойств и экономии дефицитного никеля) дополнительно легируют Mo, V, Mn, Cu, Ti, N, B, W. Химические свойства металлов зависят от их сродства к кислороду и способности пассивироваться.

Хром сообщает высоколегированным сталям свойство пассивироваться в окислительных средах. Повышение коррозионной стойкости стали при легировании хромом происходит скачкообразно при концентрации хрома в феррите 1/8 моля (11,7%). Дальнейшее заметное повышение коррозионной стойкости отмечается при содержании в феррите 2/8, 3/8 и т. д. моля хрома (что соответствует 23,4 и 35,1 %). При таких концентрациях хрома электродный потенциал повышается скачкообразно, резко меняются химические свойства сплава, и на поверхности стали вместо рыхлого слоя оксидов железа появляется

плотная тонкая пленка оксидов хрома. Эта пленка и обеспечивает высокую коррозионную стойкость хромосодержащих сталей в окислительных средах.

Никель имеет более высокий электродный потенциал, т. е. меньшее сродство к кислороду, чем железо. При сплавлении никеля с железом кислотостойкость передается сплаву.

На основании изложенного выше, а также с учетом требований, предъявляемых к структуре, механическим свойствам, условиям производства, выбирают оптимальный состав стали. Минимальное общее содержание основного легирующего элемента (хрома) в стали назначают с учетом концентрации углерода и возможности образования карбидной фазы $(Cr, Fe)_7C_3$ или $(Cr, Fe)_4C$. По ГОСТ 2176 отливки из коррозионно-стойких сталей подразделяют по структуре на шесть классов.

Стали мартенситного класса (20X13Л, 10X14НДЛ, 09X16Н4БЛ, 09X17НЗСЛ и др.) применяют для изготовления отливок, работающих в малоагрессивной среде и одновременно в условиях умеренных ударных и статических нагрузок (детали повышенной прочности для авиационной, химической и других отраслей промышленности, литые детали турбин с рабочей температурой до 600 °С).

Сталь мартенситно-ферритного класса (15X13Л) обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и пресной воде. Из нее можно изготавливать отливки, подверженные ударным нагрузкам.

Сталь ферритного класса (15X25ТЛ) является кислотостойкой и одновременно жаростойкой, предназначена для производства отливок химического машиностроения, не подвергающихся большим механическим нагрузкам. Низкие механические свойства обусловлены крупнозернистой структурой, а повышение концентрации хрома в феррите снижает пластичность последнего.

Стали аустенитного класса (07X18Н9Л, 10X18Н9Л, 12X18Н9ТЛ, 10X18Н11БЛ, 12X18Н12МЗТЛ, 10X17Н10Г4МБЛ) обладают максимальной коррозионной стойкостью. Аустенитная хромоникелевая сталь является кислотостойкой и применяется для изготовления различной арматуры в химической промышленности, коллекторов выхлопных систем, печной арматуры, работающей в среде агрессивных газов, деталей паровых и газовых турбин и т. д. Аустенитная структура стали, содержащей 18 % Cr, получается при введении не менее 8 % Ni. Иногда часть никеля может быть заменена другими, менее дефицитными аустенитизирующими элементами, например, азотом, марганцем.

Предельное равновесное количество углеродов, растворимое в аустените хромоникелевой коррозионно-стойкой стали, составляет 0,02—0,03 %. Избыточный углерод может быть переведен в твердый раствор при закалке (1000—1050 °С). Для предотвращения выделения карбидов хрома сталь стабилизируют сильными карбидообразующими элементами (Ti, Ta или Nb). Хром в этом случае полностью остается в твердом растворе, а сопротивляемость межкристаллитной коррозии возрастает.

Стали аустенитно-мартенситного класса (08X14H7МЛ, 14X18H4Г4Л) применяются как коррозионно-стойкие для деталей, работающих при нормальных и низких температурах, и рекомендуются для замены стали 10X18H9Л в целях экономии никеля.

Стали аустенитно-ферритного класса (12X25H5ТМФЛ, 16X18H12C4ТЮЛ) имеют структуру, состоящую из зерен феррита, окаймленного аустенитом, что обуславливает высокие прочностные свойства, удовлетворительную пластичность после соответствующей термической обработки. Эти стали, обладающие одновременно кислотостойкостью и жаростойкостью при температурах 600—1000 °С, используют для изготовления деталей химического оборудования, оборудования нефтеперегонных заводов, лопаток компрессоров и других деталей.

Большая часть сталей приведенных марок является одновременно коррозионно-стойкой и жаростойкой. Жаростойкость, как и коррозионная стойкость, определяется главным образом прочностью и плотностью, образуемой на поверхности изделия оксидной пленки.

Гораздо меньше сталей являются жаропрочными, т. е. способными сопротивляться пластической деформации и разрушению при температурах выше 550 °С. Более высокой жаропрочностью обладают сплавы, соответствующие по составу насыщенному твердому раствору, способному к дисперсионному твердению. В результате дисперсионного твердения выделяющиеся по границам зерен мелкие интерметаллические и карбидные фазы замедляют диффузионные процессы и затрудняют сдвиг кристаллов относительно друг друга.

Максимальной жаропрочностью обладают сложнолегированные стали, в которых твердый раствор имеет высокие температуры плавления и рекристаллизации, а дополнительные элементы образуют мелкодисперсные фазы внедрения или вызывают дисперсионное твердение за счет частичного распада твердого раствора.

Выплавка высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей осуществляется в печах с основной футеровкой (преимущественно дуговых и индукционных). В дуговых печах сталь получают как из свежей шихты с окислением, так и методом переплава, а в индукционных печах только вторым методом. Основные технико-экономические проблемы, связанные с подготовкой качественного литейного расплава, заключаются в предупреждении чрезмерного угара хрома и других легирующих элементов; получении в стали возможно низкой концентрации углерода (0,02—0,03 %) при использовании дешевых шихтовых материалов, рафинировании стали от неметаллических включений и газов. Технологию выплавки стали из свежей шихты с окислением применяют для особо ответственных отливок. По данным Ю. А. Шульте оптимальной является следующая последовательность операций. В завалку вместе с низкоуглеродистым ломом задают руду и известь. После расплавления шихты шлак частично или полностью скачивают и наводят новый. С целью обезуглероживания ванны, дегазации, удаления неметаллических включений в хорошо нагретый металл добавляют руду или продувают его кислородом. После удаления окислительного шлака проводят

раскисление ферросилицием, силикохромом, алюминием, наводят восстановительный шлак и в два—четыре приема вводят нагретый низкоуглеродистый феррохром. В процессе расплавления феррохрома шлак раскисляют смесями порошков ферросилиция, алюминия и силикокальция. Титан в виде ферротитана вводят в ванну перед выпуском. Губку или металлические отходы титана присаживают в ковш.

Переплав высоколегированных отходов можно вести как с применением газообразного кислорода, так и без него. Если наличие отходов позволяет получить содержание углерода в ванне по расплавлению на 0,05—0,1 % меньше заданного нижнего предела, то применять кислород не следует (по данным Ф. И. Еднерала). Если состав металла по расплавлению близок к расчетному, то проводят раскисление шлака молотым коксом, ферросилицием и алюминием; легирующие элементы при этом восстанавливаются из оксидов шлака. Чаще применяют технологию, предусматривающую кратковременную продувку ванны газообразным кислородом.

Обезуглероживание высокохромистой ванны базируется на избирательном окислении углерода при высокой температуре в присутствии хрома. Благодаря экзотермическим реакциям продуваемый кислородом металл нагревается значительно быстрее, чем от электрических дуг. Барботаж ванны обеспечивает снижение в стали азота и водорода.

После раскисления силикохромом и ферросилицием состав корректируют присадкой феррохрома и других легирующих элементов, шлак раскисляют порошкообразными смесями алюминия и ферросилиция.

Выплавка экономнолегированных азотосодержащих коррозионно-стойких литейных сталей связана с решением по крайней мере двух проблем: обеспечением стабильного усвоения азота и использованием недефицитных, дешевых материалов и методов. Одним из перспективных решений этих проблем является азотокислородная продувка ванны. Эта технология предусматривает получение в печи полупродукта из легированных отходов и лома, дешевых марок углеродистого феррохрома и его продувку в печи кислородом для снижения концентрации углерода до 0,1 %.

Этот полупродукт, температура которого 1750 °С, сливают в ковш вместе со шлаком и продувают через пористые пробки последовательно осушенным воздухом и азотом (рис. 97). После раскисления силикокальцием сталь переливают в разливочный ковш.

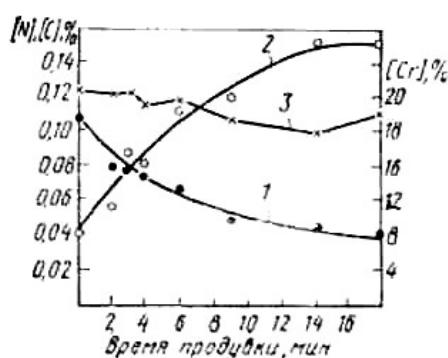


Рис. 97. Изменение содержания углерода (1), азота (2) и хрома (3) во время продувки сплава воздухом

Выплавленная таким образом экономнолегированная никелем азотосодержащая сталь содержала 0,12—0,16 % азота и обладала более высокими технологическими и служебными свойствами, чем сталь 10X18H9ТЛ.

Высоколегированные хромистые и хромоникелевые стали различных марок мало отличаются друг от друга по литейным свойствам, поэтому технологические процессы изготовления отливок имеют много общего. Жидкотекучесть хромистых и хромоникелевых высоколегированных сталей выше, чем углеродистых с соответствующим содержанием углерода. Увеличение жидкотекучести связано с более низкой температурой солидуса (на 50—20 °С) и ликвидуса (на 70—30 °С) легированных сталей по сравнению с углеродистыми сталями. Особенно высокой жидкотекучестью характеризуются экономнолегированные азотосодержащие стали, не стабилизированные титаном. Существенному повышению жидкотекучести способствует продувка стали инертным газом в ковше. Однако, несмотря на хорошую жидкотекучесть, формы необходимо заливать сталью с большим перегревом и быстро. Увеличение температуры и скорости заливки вызвано склонностью этих сталей к пленообразованию. Наличие плен, состоящих главным образом из оксидов хрома и железа, не только ухудшает условия заполнения полости формы, но может быть причиной резкого снижения качества отливки из-за нарушения ее сплошности и повышенной склонности к пригару. Чтобы предупредить получение плен и включений в отливках со средней толщиной стенок, сталь разливают быстро при 1580—1600 °С. Конструкция литниковой системы, выбор места и способа подвода металла должны обеспечивать его плавное движение, исключать образование встречных потоков.

С целью уменьшения окисления в период заливки и пригара на поверхность формы целесообразно наносить противопригарные покрытия, облицовочные смеси на основе хромистого железняка, хромомagneзита и циркония, проводить разливку в среде аргона, применять фильтровальные устройства в литниковой системе. Особо следует подчеркнуть недопустимость применения углеродосодержащих крепителей и добавок. В этом случае углеродом насыщается поверхностный слой отливки глубиной ~2 мм, содержание углерода в нем достигает 0,3 %, что резко снижает сопротивление межкристаллитной коррозии. Повышенная температура заливки вызывает формирование грубой первичной структуры, которую часто невозможно изменить термической обработкой вследствие отсутствия у ряда сталей фазовых превращений. Измельчение первичного зерна достигается дополнительным легированием и модифицированием стали Mg, N, B, Ce, Ti, Zr.

Высокая температура заливаемой стали, пониженная ее теплопроводностью, быстрое заполнение формы способствуют образованию больших (по сравнению с углеродистой сталью) усадочных раковин, что требует увеличения размеров

прибылей. В целях уменьшения расхода жидкого металла при производстве отливок из высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей особенно эффективны дополнительный разогрев металла в прибыли, использование повышенного воздушного и газового давления и др. Большая растворимость газов и трудность их удаления из затвердевающей отливки вследствие повышенной вязкости стали часто являются причинами образования в отливках газовых раковин.

Линейная усадка коррозионно-стойких жаростойких и жаропрочных сталей изменяется в широких пределах в зависимости от их структуры. Максимальную усадку имеют стали аустенитного класса, а минимальную — стали мартенситного класса. Низкая теплопроводность, крупнозернистая структура, недостаточная пластичность и прочность при высоких температурах вызывают повышенную склонность сталей, высоколегированных хромом и никелем, к образованию горячих трещин, поэтому литейная форма должна обладать максимально достижимой податливостью. Хромистые стали почти всех классов (по структуре) склонны к образованию холодных трещин. Причиной этого является повышенная хрупкость из-за наличия карбидов, σ -фазы. Значительно меньше опасность образования холодных трещин в хромосодержащих сталях аустенитного класса из-за низкого предела упругости и сравнительно хорошей пластичности. Многие отливки подвергают различным видам термической обработки, режим которых определяется химическим составом стали и назначением отливки.

4. ОТЛИВКИ ИЗ ХЛАДОСТОЙКОЙ СТАЛИ

Развитие криогенной техники, бурное освоение сырьевой базы в районах Крайнего Севера и Дальнего Востока потребовали изготовления машин и различного оборудования, способного надежно и длительно работать при отрицательных температурах. Хладостойкость многих, в том числе и литейных конструкционных сталей недостаточна. Основной причиной, вызывающей снижение пластичности и сопротивления хрупкому разрушению в области отрицательных температур, является загрязненность сплава кислородом, серой, фосфором, рядом цветных металлов. С их присутствием связано образование различной формы неметаллических включений, снижение межкристаллической прочности.

Многолетняя практика показала, что допустимые стандартом концентрации серы и фосфора ($\sim 0,05$ — $0,04$ % каждого) являются чрезвычайно высокими. По данным Ю. А. Шульте, при уменьшении содержания серы в нелегированной и низколегированной конструкционных сталях от $0,04$ до $0,01$ % ударная вязкость возрастает в 2 — 3 раза, снижается порог хладноломкости. Отрицательное влияние серы и фосфора на ударную вязкость низколегированных марганцем литейных сталей с различным содержанием углерода иллюстрируется рис. 98.

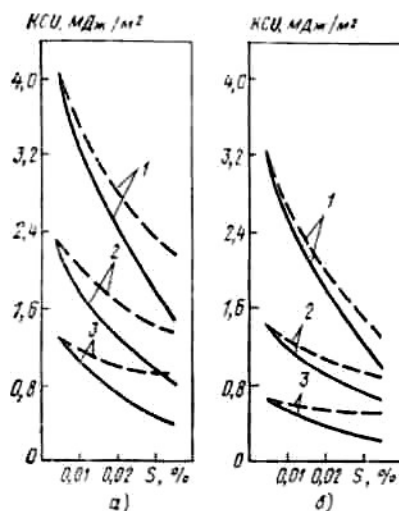


Рис. 98. Влияние серы (сплошные линии) и модифицирования (штриховые линии) на ударную вязкость сталей 10ГЛ (1), 20ГЛ (2), 35ГЛ (3) при температуре 20 (а) и -60°C (б) по данным Ю. А. Шульте

Установлено, что наибольший рост пластичности и ударной вязкости достигается при содержании серы менее 0,01 %. Следовательно, одним из направлений является глубокая десульфурация стали. Количество оксидных включений и их форма во многом определяются природой раскислителей и технологией проведения этой операции. Применение для окончательного раскисления силикокальция, силикобария, силицидов, РЗМ (33 % РЗМ, 33 % Si, 33 % Fe) позволяет не только снизить общую загрязненность стали неметаллическими включениями, но и придать им более благоприятную округлую форму. Существенное значение имеет строение металлической основы. Мелкозернистая равноосная структура матрицы, получаемая в результате легирования и термической обработки, повышает хладостойкость стали.

Особенностью хладостойких литейных сталей (ГОСТ 21357) является низкая допустимая концентрация серы и фосфора (до 0,02 % каждого). Большую часть сталей легируют молибденом (0,1—0,3 %) и ванадием (0,06—0,15 %). Стандарт требует обрабатывать сталь при выплавке комплексными раскислителями и лигатурами РЗМ. Литые детали из хладостойкой износостойкой стали эксплуатируют при температуре до -60°C .

В число сдаточных характеристик наряду с σ_{T} , σ_{B} , δ , ψ введена ударная вязкость при -60°C . Не допускаются в отливках неметаллические включения пленочного типа. Как следует из изложенного выше, основные особенности производства хладостойких отливок заключаются в выплавке, модифицировании сплавов и термической обработке отливок. Каких-либо

существенных изменений технологии изготовления форм и других процессов получения отливок не требуется.

Лекция 17

1. ОТЛИВКИ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Для изготовления фасонных отливок используют литейные сплавы, которые в зависимости от компонентов, добавляемых к алюминию, подразделяют на пять групп (табл. 20). Основными компонентами (кроме алюминия) в сплавах являются: I группы — кремний, II группы — кремний и медь, III группы — медь, IV группы — магний. В V группу входят сложнелегированные сплавы.

Таблица 20

Химический состав, %, некоторых алюминиевых литейных сплавов ГОСТ 2685

Группа сплавов	Марка сплава	Si	Cu	Mg	Mn	Другие элементы
I	АЛ2	10—13	—	—	—	—
	АЛ4	8—10,5	—	0,17—0,3	0,2—0,5	—
	АЛ9	6—8	—	0,2—0,4	—	—
II	АЛ	4,5—5,5	1,5—3	0,35—0,6	0,6—0,9	—
	АК7М2	6—8	1,5—3	0,2—0,6	0,2—0,6	—
	АЛ32	7,5—8,5	1—1,5	0,3—0,5	0,3—0,5	0,1—0,3 Ti
III	АЛ 7	—	4—5	—	—	—
	АЛ19	—	4,5—5,3	—	0,6—1	0,15—0,35 Ti
IV	АЛ8	—	—	9,3—10	—	—
	АЛ27	—	—	9,5—10,5	—	0,05—0,15 Ti 0,05—0,15 Be 0,05—0,2 Zr
V	АЛ1	11—13 20—22	3,75—4,5	1,25—1,75	—	1,75—2,25 Ni
	АЛ30		0,8—1,5	0,8—1,3	0,2—0,4	0,8—1,3 Ni
	АК21М2,5Н2,5		2,2—3	0,2—0,5	—	2,2—2,8 Ni 0,1—0,3 Ti 0,2—0,4 Cr

Примечание. Остальное Al.

Алюминиевые сплавы имеют высокую удельную прочность при нормальной температуре, хорошие литейные свойства, высокую коррозионную стойкость в атмосферных условиях. Наибольшее применение нашли сплавы I и II групп.

Сплавы I группы (силумины) широко используют в авиационной, автомобильной, приборостроительной, машиностроительной, судостроительной и электротехнической промышленности. По содержанию кремния все они, за исключением сплава АЛ2, являются доэвтектическими, кристаллизуются в узком интервале, имеют небольшую линейную усадку, высокую жидкотекучесть, малую склонность к образованию трещин при затрудненной

усадке и рассеянной усадочной пористости. Основными структурными составляющими двойных сплавов алюминия с кремнием являются первичные кристаллы твердого раствора кремния в алюминии α_{Al} и двойная эвтектика $\alpha_{Al} + Si$.

Наиболее вредной примесью является железо, образующее с компонентами сплава фазу $\beta(Al_xFe_y, Si_z)$, кристаллизующуюся в форме грубых иглообразных кристаллов резко снижающих пластичность. Для нейтрализации вредного влияния железа в сплавы вводят марганец, а для повышения прочности легируют магнием.

При изготовлении толстостенных отливок сплавы первой группы обязательно модифицируют, так как до модифицирования они имеют низкую пластичность, обусловленную грубыми выделениями эвтектического кремния.

Заэвтектические сплавы (14—22 % кремния) отличаются жаропрочностью и имеют небольшой коэффициент термического расширения. Основными структурными составляющими этих сплавов являются кристаллы первичного кремния и эвтектика $\alpha_{Al} + Si$. Заэвтектические сплавы также подвергают модифицированию.

Сплавы II группы широко используют для изготовления отливок повышенной прочности и твердости, сохраняющих постоянство размеров в процессе эксплуатации: корпусов приборов, автомобильных и тракторных поршней, деталей двигателей воздушного охлаждения. Сплавы этой группы более жаропрочны, чем силумины; обладают хорошей жидкотекучестью, малой линейной усадкой, но более склонны к образованию усадочной пористости и трещин при затрудненной усадке, чем сплавы первой группы. Основными структурными составляющими сплавов являются первичные кристаллы твердого раствора α_{Al} , двойная эвтектика $\alpha_{Al} + Si$ и тройная эвтектика $\alpha_{Al} + Si + CuAl_2$. Кроме того, в зависимости от содержания примеси железа, в структуре могут присутствовать компактные или игольчатые (Al_xFe_y, Si_z) кристаллы железистой составляющей.

Сплавы III группы отличаются высокими механическими свойствами, но более низкой коррозионной стойкостью, хорошо обрабатываются резанием. Обладая широким интервалом кристаллизации, сплавы системы алюминий—медь склонны к образованию усадочных трещин и рассеянной усадочной пористости; они менее жидкотекучие, чем сплавы первой и второй групп. Основными структурными составляющими этих сплавов являются твердый раствор меди в алюминии (α_{Al}), эвтектика $\alpha_{Al} + CuAl_2$, а также железистая составляющая $(Al_xMn_yFe_z, Si_p)$. Для измельчения зерна и повышения механических свойств сплавы легируют марганцем, титаном или цирконием. Сплавы III группы упрочняют термической обработкой.

Сплавы IV группы отличаются низкой плотностью, высокими прочностными свойствами и коррозионной стойкостью, их используют для изготовления отливок, испытывающих вибрационные нагрузки. Эти сплавы имеют низкие литейные свойства: повышенную склонность к окислению и образованию усадочных трещин и рыхлот, низкую жидкотекучесть, а также взаимодействуют с влагой литейных форм. Основными структурными

составляющими являются твердый раствор магния в алюминии (α_{Al}) и двойная эвтектика $\alpha_{Al} + Al_8Mg_5$. Для повышения механических свойств и снижения газовыделение при кристаллизации эти сплавы легируют цирконием, а для предохранения от загорания — бериллием.

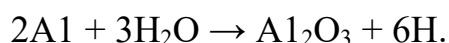
С п л а в ы V г р у п п ы применяют для изготовления отливок с повышенной стабильностью размеров, работающих при повышенных температурах и давлениях, а также для изготовления сварных конструкций. Они имеют сложную многофазную структуру, определяющую их высокую склонность к горячим трещинам. Основными структурными составляющими являются фазы S (Al_2CuMg_2), $Al_3(Ni, Cu)_2$ и T (Al_6Cu_3Ni). Кроме того, всегда присутствуют кристаллы железистой составляющей.

Особенности плавки и литья. При плавке на воздухе алюминиевые сплавы окисляются и насыщаются водородом. По мере окисления на их поверхности образуется оксидная пленка. При достижении толщины пленки 0,2 мкм скорость окисления резко снижается из-за малой скорости диффузии кислорода через пленку. Щелочные и щелочноземельные металлы (натрий, литий, барий, кальций, стронций) и цинк увеличивают окисляемость сплавов в результате образования рыхлых оксидных пленок. Бериллий (до 0,01 %) снижает скорость окисления, большая же часть легирующих элементов (Mn, Cu, Si и др.) не оказывает существенного влияния. В процессе плавки оксидные пленки разрушаются, их обрывки замешиваются в расплаве, а, попадая в отливки, ослабляют их сечения, снижают пластичность.

Алюминиевые сплавы растворяют до 3 см³ водорода на 100 г расплава. Большая относительная разность растворимости водорода в жидких и твердых алюминиевых сплавах является их специфической особенностью, определяющей большую склонность к образованию в отливках газовых раковин и пористости. Щелочные и щелочноземельные металлы увеличивают растворимость водорода в сплавах.

Проведение плавки под флюсами предохраняет алюминиевые расплавы от окисления и насыщения водородом. Для сплавов, содержащих не более 1 % магния, в качестве покровного флюса применяют смесь хлоридов натрия и калия (55 %) в количестве 1—2 % от массы шихты. Для алюминиево-магниевых сплавов, содержащих более 1 % магния, в качестве флюса используют карналлит ($MgCl_2 \cdot X KCl$) и смесь карналлита с 10—15 % фторида кальция или магния. В тех случаях, когда применение флюса невозможно, защиту этих сплавов от окисления осуществляют введением 0,01—0,05 % бериллия. В последние годы для этой цели успешно применяют газовые смеси, например воздух с 0,1 % шестифтористой серы (SF_6).

Из газов печной атмосферы для алюминиевых сплавов наиболее опасны пары воды. Взаимодействие их с алюминием приводит к загрязнению расплавов оксидными пленками и насыщению водородом:



В целях предотвращения такого взаимодействия принимают ряд мер для удаления влаги: сушат шихтовые материалы, прокаливают футеровку печей и

разливочных ковшей, окрашивают плавильный инструмент, сушат и переплавляют флюсы. Однако полностью предотвратить окисление и взаимодействие с водяными парами не удастся, и расплавы в той или иной степени оказываются загрязненными оксидными включениями и водородом, поэтому перед заливкой в формы требуют очистки.

Рафинирование алюминиевых расплавов от взвешенных неметаллических включений и водорода осуществляют продувкой инертными (аргон, азот) и активными (хлор, смесь азота с 10 % хлора) газами, обработкой хлоридами ($MnCl_2$, $ZnCl_2$, $TiCl_4$, C_2Cl_6), флюсами, выдержкой в вакууме и фильтрованием через зернистые или спеченные фильтры.

Технология продувки состоит в пропускании газов через пористые вставки из спеченного глинозема для получения газовых пузырьков диаметром 1,5—2 мм. Продувку азотом проводят при 720—730 °С в течение 5—20 мин (в зависимости от объема расплава) с расходом газа 0,5—1 м³ на тонну расплава. Рафинирование смесью азота с хлором проводят при 710—720 °С в течение 10—12 мин с расходом газа 0,5—0,8 м³ на тонну расплава.

При рафинировании хлоридами последние вводят в расплав в количестве 0,1—0,3 % при температуре 720—750 °С. Взаимодействие хлоридов с алюминием сопровождается образованием хлористого алюминия, пары которого действуют так же, как азот или аргон. Для удаления мелких пузырьков рафинирующих газов расплавы после рафинирования отстаивают в течение 10—15 мин.

Рафинирование флюсом осуществляют при 730—750 °С, расход флюса 0,5—1 % от массы расплава. Перед использованием флюс переплавляют для удаления кристаллизационной влаги. Обезвоженный флюс насыпают на поверхность расплава или вводят в расплав, который энергично перемешивают. В некоторых случаях рафинирование проводят в ковшах. Для этого флюс заливают на дно ковша, а затем ковш заполняют металлом. При этом происходит интенсивное замешивание флюса в расплав и удаление неметаллических включений.

Вакуумирование алюминиевых расплавов ведут при остаточном давлении 6,6—13,3 кПа в течение 15—20 мин.

Эффективным способом очистки от неметаллических включений и плен является фильтрование расплавов через сетчатые, зернистые или пористые керамические фильтры. Сетчатые фильтры, изготовленные из стеклоткани с размером ячейки от 0,5X0,5 до 1,5X1,5 мм или титана, установленные в литниковых чашах, под стояками или в шлакоуловителях, позволяют в 1,5—2 раза снизить количество попавших в отливку включений и плен, размер которых больше размера ячейки сетки.

Значительно больший эффект очистки дают зернистые фильтры, представляющие собой слой (толщиной 100—150 мм) зерен фильтрующего материала диаметром 5—10 мм. Такие фильтры изготовляют из магнезита, графита, сплавов хлоридов и фторидов, алунда и других материалов. Очистка расплавов фильтрованием через зернистые фильтры обусловлена механическим и адгезионным процессами. Первому из них принадлежит решающая роль при отделении крупных включений и плен, второму — при отделении

тонкодисперсных включений. Эффективность очистки зависит от природы материала, размера зерна, толщины слоя фильтра и металлостатического напора, определяющего скорость фильтрации. При оптимальных условиях фильтрования зернистые фильтры работают в 2—4 раза более эффективно, чем сетчатые.

Керамические фильтры с диаметром пор 150—200 мкм обеспечивают эффективное удаление неметаллических включений размером более 10 мкм.

Эффективность операций рафинирования перечисленными способами контролируют с помощью технологических проб, химического и газового анализа.

Алюминиевые сплавы модифицируют с целью измельчения макрозерен, первично кристаллизующихся фаз и фаз, входящих в эвтектики, и изменения формы выделения хрупких фаз. Для измельчения макрозерен в расплавы вводят титан, цирконий, бор, ванадий, титан совместно с бором. Эти модификаторы образуют с алюминием интерметаллиды, являющиеся центрами кристаллизации твердых растворов на основе алюминия. Измельчение макрозерен отливок повышает однородность их механических свойств в различных по толщине сечениях и увеличивает относительное удлинение.

Силумины подвергают модифицированию с целью измельчения кристаллов эвтектического кремния. Для этого в доэвтектические сплавы, содержащие не менее 6 % кремния, вводят 0,05—0,1 % натрия или стронция. Введение натрия осуществляют смесью хлористого и фтористого натрия (33 % NaCl, 67 % NaF) при температуре 800—820 °С или тройным модификатором (25% NaF, 62,5% NaCl, 12,5% KCl) при температуре 720—740 °С. В некоторых случаях модифицирование совмещают с рафинированием, используя для этой цели универсальный флюс (40 % NaF, 45 % NaCl, 15 % Na₃AlF₆). При модифицировании солями их навеску (1—2 %) засыпают на поверхность расплава и выдерживают в течение 10—15 мин для того, чтобы с достаточной полнотой прошла реакция:



После этого соли замешивают в расплав и через 3—5 мин удаляют вместе со шлаком. Эффект модифицирования натрием сохраняется в течение 20—30 мин. Модифицирующее действие стронция, который вводят в расплав лигатурой алюминий—стронций (10% Sr), при температуре 750—780 °С сохраняется более 3 ч.

Заэвтектические силумины модифицируют с целью измельчения первичных кристаллов кремния. В качестве модификатора используют фосфор, который вводят в расплавы в количестве 0,05—0,1 % лигатурой медь—фосфор или смесью красного фосфора (20 %) с фторцирконатом калия (K₂ZrF₆) (10 %) и хлористым калием (70%) при 790—825 °С.

Для изменения формы выделения кристаллов железистой составляющей (получение компактных, округлых кристаллов вместо иглообразных, резко снижающих пластические свойства) в алюминиевые сплавы вводят 0,3—0,4 % марганца или бериллия.

Тщательно очищенный расплав может быть вновь загрязнен в процессе заливки форм. Падение струи металла с высоты более 300 мм вызывает вспенивание и образование оксидов, часть которых попадает в отливку. Для алюминиевых сплавов недопустимо образование завихрений в местах удара струи о стенку формы. Воздух, захваченный вихревыми потоками, окисляет расплав. В связи с этим применяют расширяющиеся литниковые системы, обеспечивающие отделение неметаллических включений и минимально допустимую линейную скорость движения струи расплава на выходе из питателей. Очень часто в шлакоуловителях устанавливают сетки (из стеклоткани, титана, стержневой смеси), усложняют литниковые системы различными поворотами, используют зернистые фильтры.

Для предотвращения захвата воздуха при заполнении высоких форм >300 мм применяют многоярусные и щелевые литниковые системы, позволяющие к тому же получать наиболее благоприятное распределение температуры по высоте отливки.

Алюминиевые сплавы склонны к образованию усадочной пористости, устранение которой в отливках достигают установкой массивных прибылей, холодильников, а для ответственных отливок — кристаллизацией под давлением сжатого воздуха в автоклавах.

Отливки из алюминиевых сплавов изготавливают всеми известными способами литья. Около 80 % отливок получают литьем в металлические формы (в кокиль, под давлением, под низким давлением), остальные 20 % — литьем в формы однократного использования (песчаные, оболочковые и др.). Для изготовления песчаных форм и стержней используют мелкозернистые пески. В состав формовочных смесей вводят до 95 % возврата. При изготовлении отливок из алюминий-магний-марганцевых сплавов в состав формовочных смесей вводят присадку ВМ (на основе технической мочевины) или борную кислоту, которые предохраняют расплавы от загорания в форме.

Очищают отливки на гидropескоструйных установках. В зависимости от состава сплава отливки проходят термическую обработку по определенным режимам.

ОТЛИВКИ ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Для изготовления фасонных отливок используют три группы магниевых сплавов: сплавы магния с алюминием и цинком, сплавы магния с цинком и цирконием, сплавы магния, легированные РЗМ (табл. 21).

Таблица 21

Химический состав, %, некоторых магниевых литейных сплавов ГОСТ 2856

Группа сплавов	Марка сплава	Al	Mn	Zn	Zr	Другие элементы
1	МЛ3	2,5—3,5	0,15—0,5	0,5—1,5	—	—
	МЛ4	5—7	0,15—0,5	2—3,5	—	—
	МЛ5	7,5—9	0,15—0,5	0,2—0,8	—	—
	МЛ6	9—10,2	0,1—0,5	0,6—1,2	—	—
2	МЛ8	—	—	5,5—6,6	0,7—1,1	0,2—0,8 Cd
	МЛ12	—	—	4—5	0,6—1,1	—
3	МЛ9	—	—	—	0,4—1	0,2—0,8 In, 1,9—2,6 Nd
	МЛ19	—	—	0,1—0,6	0,4—1	1,4—2,2 Y, 1,6—2,3 Nd

Примечание. Остальное Mg.

Сплавы 1-й группы предназначены для производства высоконагруженных отливок, работающих в атмосфере с большой влажностью. Для повышения коррозионной стойкости в сплавы вводят 0,1—0,5 % марганца, а для снижения окисляемости 0,001—0,002 % бериллия или 0,5—0,1 % кальция. Сплавы этой группы относят к числу высокопрочных. Основным упрочнителем в них является алюминий, растворимость которого в магнии при эвтектической температуре составляет 17,4 %, а при нормальной — 2,8 %. Цинк также упрочняет магний, но менее эффективно, чем алюминий.

Основными структурными составляющими сплавов этой группы являются первичные кристаллы α_{Mg} твердого раствора алюминия и цинка в магнии, фазы γ ($\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$), η (Mn, Al) и марганцевая фаза. Фаза γ является упрочнителем сплавов при термической обработке.

Сплавы 2-й группы также относят к числу высокопрочных. Они отличаются от магниевых сплавов других групп повышенными механическими свойствами и хорошей обрабатываемостью резанием. Легирование их лантаном улучшает литейные свойства, несколько повышает жаропрочность и свариваемость, но снижает прочность и пластичность при нормальной температуре. Эти сплавы обладают удовлетворительными литейными свойствами, имеют измельченные цирконием зерна, способны упрочняться при термической обработке. Из них можно получать отливки с однородными свойствами в различных по толщине сечениях. Их используют для

изготовления отливок, работающих при 200—250 °С и высоких нагрузках. Основными структурными составляющими являются твердый раствор цинка и циркония в магнии (α_{Mg}) и включения интерметаллидов Mg_2Zn_3 и ZrZn_2 , являющихся упрочнителями при термической обработке.

Сплавы 3-й группы обладают высокой жаропрочностью и хорошей коррозионной стойкостью. Они предназначены для длительной работы при 250—350 °С и кратковременной при 400 °С. Эти сплавы имеют хорошие литейные свойства, высокую герметичность, малую склонность к образованию микрорыхлот и усадочных трещин, высокие и однородные механические свойства в сечениях различной толщины. Сплавы с редкоземельными элементами применяют для изготовления отливок, работающих под воздействием статических и усталостных нагрузок. Основными их структурными составляющими являются твердый раствор неодима и циркония в магнии и включения фаз Mg_3Nd , Mg_9Nd , Mg_2Zr .

Для изготовления отливок чаще используют сплавы первой группы. Лучшими литейными свойствами обладают сплавы МЛ5 и МЛ6.

Особенности плавки и литья. Плавка магниевых сплавов сопряжена с рядом трудностей, связанных, прежде всего с их легкой окисляемостью. На поверхности магниевых расплавов, в отличие от алюминиевых, образуется рыхлая пленка оксида, не предохраняющая металл от дальнейшего окисления. При незначительном перегреве магниевые расплавы легко воспламеняются. В процессе плавки магний и его сплавы взаимодействуют с азотом, образуя нитриды, и интенсивно поглощают водород (до 30 см³ на 100 г расплава). Оксиды и нитриды, находясь во взвешенном состоянии, обуславливают снижение механических свойств сплава и образование микропористости в отливках.

Для предотвращения интенсивного взаимодействия с печными газами плавку магниевых сплавов ведут под флюсами или в среде защитных газов. При плавке большей части магниевых сплавов применяют флюс ВИ2 (40—48 % MgCl_2 , 30—40 % KCl , 5% BaCl_2 , 3—5 % CaF_2) и ВИ3 (33—40 % MgCl_2 , 25—36 % KCl , 15—20 % CaF_2 , 7—10 % MgO), основой которых является карналлит. Покровные флюсы для сплавов с редкоземельными элементами не должны содержать хлористый магний (22—26 % KCl , 17—20 % NaCl , 35—39 % CaCl_2 , 19—23 % BaCl_2 , 2—5 % CaF_2), так как он взаимодействует с РЗМ с образованием хлоридов, увеличивая их потери до 20 %.

Применение флюсов вызывает ряд нежелательных явлений. Попадание флюса в тело отливки приводит к образованию очагов интенсивной коррозии из-за их высокой гигроскопичности; существенно ухудшаются условия труда. Поэтому в настоящее время широко применяют безфлюсовую плавку, используя для защиты магниевых расплавов газовые смеси (воздух с шестифтористой серой или фторидом бора, углекислый газ и др.). В производственных условиях чаще всего используют смесь воздуха с 0,1 % шестифтористой серы.

В зависимости от масштаба производства и массы отливок применяют три способа плавки литейных магниевых сплавов: в стационарных тиглях, выемных

тиглях и дуплекс-процессом (в индукционной печи-тигле). Плавку в стационарных тиглях ведут при массовом или крупносерийном производстве мелких отливок. Сплавы в этом случае расплавляют под флюсом ВИ2 в толстостенных стальных тиглях. После рафинирования и модифицирования расплавы отстаивают в течение 10—15 мин при температуре 700—720 °С, а затем небольшими ковшами разливают по формам. Остаток металла (25—30 % объема расплава в тигле), загрязненный неметаллическими включениями и флюсом, после каждой плавки сливают и подвергают переплавке и рафинированию.

При изготовлении крупных отливок плавку ведут в выемных сварных стальных тиглях чайникового типа под флюсом ВИ3. Этот флюс имеет меньшую плотность, чем флюс ВИ2, поэтому всплывает на поверхность расплава и во время заливки форм удерживается в тигле перегородкой. Для заполнения форм используют 2/3 объема расплава; 1/3 объема, загрязненного флюсом и неметаллическими включениями, направляют на переплав и рафинирование.

При дуплекс-процессе после расплавления в индукционных тигельных печах под флюсом расплав переливают в выемные тигли, в которых осуществляют рафинирование и модифицирование.

Выплавка большей части магниевых сплавов начинается с загрузки и расплавления покровного флюса (около 10% от массы шихты), затем загружается и расплавляется магний или подготовительный сплав, в который добавляются легирующие компоненты (Mn, Zn, Zr и PЗМ). Марганец вводят в виде хлористого марганца при 850 °С, цирконий в виде фторцирконата калия или лигатуры магний — цирконий. PЗМ вводят в чистом виде или мишметаллом.

Для очистки от неметаллических включений магниевые расплавы фильтруют через зернистые фильтры из магнезита или графита, обрабатывают флюсом ВИ2 или ВИ3 или продувают газами (аргоном при 720—760 °С). Для связывания водорода в устойчивые гидриды в расплавы перед разливкой вводят до 0,1 % кальция.

Для измельчения зерна и повышения механических свойств магниевые сплавы, содержащие алюминий, подвергают модифицированию углеродсодержащими веществами (мелом, гексахлорэтаном, магнезитом, мрамором и др.) или перегревом. Перед модифицированием для предохранения от загорания в расплавы вводят 0,001—0,002 % бериллия.

При модифицировании перегревом расплав нагревают в стальном тигле до 900 °С, выдерживают при этой температуре 15—20 мин, а затем быстро охлаждают до температуры заливки. В процессе перегрева магниевые расплавы растворяют некоторое количество железа из стального тигля. При последующем быстром охлаждении железо выделяется в виде дисперсных частиц FeAl_3 , которые служат центрами кристаллизации для твердого раствора алюминия в магнии α_{Mg} .

Более стабильные результаты достигают модифицированием углеродсодержащими веществами (0,3—0,6% от массы расплава). При 720—

780°С модификаторы разлагаются с выделением углекислого газа, из которого магний восстанавливает углерод. В результате последующего взаимодействия с алюминием образуются тонко дисперсные карбиды алюминия (Al_4C_3), являющиеся центрами кристаллизации для α_{Mg} -твердого раствора.

Для измельчения зерен сплавов, не содержащих алюминия, в расплав вводят присадки циркония (0,5—0,7 %) или кальция (0,05—0,15 %).

При заливке форм предусматривают меры, предотвращающие попадание шлака и флюса в отливки, захват воздуха и окисление расплава. Для этого применяют литниковые чаши с пробками, вмещающие от 30 до 100 % сплава, потребного для заполнения формы, устанавливают металлические сетки и зернистые фильтры. Эффективной мерой предотвращения попадания флюса в отливки является применение фильтров из магнезита, хорошо впитывающих хлориды.

Расширяющиеся литниково-питающие системы с тонкими ленточными стояками, щелевыми и многоярусными питателями, массивные прибыли (30—50 % от массы отливки) должны обеспечить плавный подвод металла и рациональное питание отливки в процессе затвердевания.

Около 80 % отливок из магниевых сплавов изготавливают в металлических формах (в кокилях и под давлением) и около 20 % в песчаных формах. Песчаные формы и стержни изготавливают из мелкозернистых песков.

Отличительной особенностью формовочных и стержневых смесей для этой группы сплавов является введение в их состав серы, буры, борной кислоты, технической мочевины и других веществ, предотвращающих взаимодействие расплава с материалом форм и стержней.

При заливке форм струю металла обязательно припудривают молотой серой, что предохраняет расплав от загорания. При изготовлении высоких отливок (высотой более 500 мм) широко используют метод литья с последовательной направленной кристаллизацией, предусматривающий подачу расплава в форму под уровень расплава через стальные подогреваемые трубки диаметром 10—12 мм и опускание формы с заданной скоростью. Трубки при этом остаются в исходном положении, нижний конец их все время находится под уровнем расплава.

Отличительной особенностью технологии является химическая обработка отливок перед их термической обработкой и сдачей на склад с целью получения плотного защитного слоя оксида на поверхности. В процессе химической обработки отливки обезжиривают в щелочном растворе, промывают в холодной воде, выдерживают в растворе хромового ангидрида для удаления остатков солей и флюсов, вновь промывают в воде, оксидируют в растворе двуххромовокислого калия с азотной кислотой и хлористым аммонием для получения оксидной пленки, промывают и высушивают. После этого отливки подвергают термической обработке в атмосфере сернистого газа с принудительной циркуляцией.

Технология обрубки, пропитки и контроля отливок из магниевых сплавов аналогична технологии обработки отливок из алюминиевых сплавов.

ОТЛИВКИ ИЗ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Для изготовления отливок используют оловянные и безоловянные бронзы, латуни (табл. 22).

Таблица 22

Содержание легирующих элементов, %, в некоторых медных литейных сплавах

Марка сплава	Sn	Pb	Al	Mn	Zn	Cu	Другие элементы
Оловянные бронзы ГОСТ 613;							
БрО10Ф1	9—11	—	—	—	—	Остальное	0,4—1,1 P
БрО10Ц2	9—11	—	—	—	1—3	То же	—
БрО5Ц5С5	4—6	4—6	—	—	4—6	»	—
БрО3Ц12С5	2—3,5	3—6	—	—	8—15	»	—
Безоловянные бронзы ГОСТ 493							
БрА9Мц2Л	—	—	8—9,5	1,5—2,5	—	»	—
БрА9Ж3Л	—	—	8—10,5	—	—	»	2—4 Fe
БрА10Ж3Мц2	—	—	9—11	1—3	—	»	2—4 Fe
БрСЗО	—	27—31	—	—	—	»	—
Латуни ГОСТ 17711							
ЛЦ40С	—	0,8—2	—	—	Остально е	57—61	—
40Мц1,5	—	—	—	1—2	То же	57—60	—
ЦЗОА3	—	—	2—3	—	»	66—68	—
ЛЦ16К4	—	—	—	—	»	78—81	3—4,5 Si

Медные сплавы наряду с достаточной прочностью имеют высокие антифрикционные свойства, хорошо противостоят коррозии в морской воде, паре и других средах, сохраняют высокую пластичность при низкой температуре. Они немагнитны, легко полируются и обрабатываются резанием.

Оловянные бронзы широко применяют для изготовления арматуры, подшипников, шестерен, втулок, работающих в условиях трения, повышенного давления воды и водяного пара. Хорошая жидкотекучесть бронз позволяет литьем в песчаные формы получать сложные по конфигурации отливки. Характерной особенностью сплавов этой группы является широкий интервал кристаллизации (150—200 °С), что обуславливает значительные трудности получения плотных отливок.

Бронзы с высоким содержанием олова (БрО10Ф1, БрО10Ц2), ввиду его высокой стоимости и дефицитности, применяют только для отливок

ответственного назначения. Для обычных отливок используют малооловянные бронзы.

Наиболее вредными примесями оловянных бронз являются алюминий и кремний. Сотые доли процента этих элементов снижают механические свойства бронз и способствуют увеличению растворимости водорода.

Легирование бронз цинком повышает литейные свойства и снижает стоимость сплавов. Свинец улучшает антифрикционные свойства оловянных бронз, их обрабатываемость резанием и жидкотекучесть. Фосфор повышает износостойкость и жидкотекучесть.

Безоловянные бронзы по механическим, коррозионным и антифрикционным свойствам превосходят оловянные.

Алюминиевые бронзы нашли наиболее широкое применение из них. Они имеют высокую коррозионную стойкость в пресной и морской воде, хорошо противостоят разрушению в условиях кавитации, обладают меньшим, чем оловянные бронзы, антифрикционным износом. Алюминиевые бронзы применяют для изготовления гребных винтов крупных судов, зубчатых колес, корпусов насосов и других отливок. Механические, технологические и эксплуатационные свойства этих сплавов улучшают легированием железом, марганцем и никелем. Железо и марганец устраняют склонность алюминиевых бронз к образованию крупнозернистой структуры, повышают механические свойства. Никель улучшает износостойкость и коррозионные свойства бронз. В процессе выплавки алюминиевые бронзы склонны к окислению, сопровождающемуся загрязнением расплава твердыми, трудно удаляемыми дисперсными оксидами Al_2O_3 .

Свинцовые бронзы (БрС30) обладают хорошими антифрикционными свойствами при больших удельных нагрузках и высоких скоростях скольжения, поэтому их используют как заменители оловянной бронзы при изготовлении вкладышей подшипников. Особенностью свинцовых бронз является предрасположенность к ликвации свинца. Дисперсное распределение свинца может быть достигнуто только при больших скоростях кристаллизации.

Латуни. Фасонные отливки изготавливают преимущественно из сложнолегированных латуней, двойные латуни используют сравнительно редко. Легирование двойных латуней алюминием или кремнием повышает жидкотекучесть, коррозионную стойкость, механические свойства сплавов и уменьшает угар цинка при плавке. Вместе с тем алюминий и кремний повышают склонность латуней к газонасыщению и образованию пористости. Железо и марганец улучшают механические свойства латуней, но снижают жидкотекучесть. Олово, улучшая механические свойства, не оказывает влияния на их литейные свойства.

Кремнистая латунь ЛЦ16К4 обладает высокой жидкотекучестью, хорошо обрабатывается резанием и сваривается. Ее применяют для изготовления арматуры, испытывающей повышенное воздушное и гидравлическое давление, работающей в агрессивных средах (морской воде, серной кислоте и т. д.). Эта латунь имеет недостаточную пластичность при высокой температуре, склонна к образованию трещин при затрудненной усадке. Примеси алюминия и олова

снижают жидкотекучесть кремнистой латуни и увеличивают склонность к поглощению водорода и образованию газовой пористости.

Алюминиевые латуни, обладающие хорошей коррозионной стойкостью в морской воде, широко применяют в судостроении.

Марганцовые латуни применяют для изготовления жаростойких и коррозионно-стойких отливок, легирование оловом повышает их коррозионную стойкость в морской воде.

Свинцовую латунь используют как антифрикционный материал.

Особенности плавки медных сплавов. Плавку медных сплавов ведут в тигельных и шахтных индукционных и отражательных печах, футерованных шамотом или кварцем. При плавке на воздухе медные сплавы окисляются и насыщаются водородом. Окисляются в первую очередь компоненты, имеющие более высокий, чем медь, изобарный потенциал образования оксида. По этой причине легирующие элементы (Al, Be, Sn, Zn и др.) раскисляют медь, образуя твердые, жидкие и газообразные оксиды. Твердые оксиды медленно всплывают (осаждаются) в расплавах. Они могут попасть в отливки.

Медные сплавы, за исключением латуней, интенсивно поглощают водород и при кристаллизации склонны к образованию газовой пористости. В большей мере этому подвержены сплавы с широким интервалом кристаллизации. В зависимости от состава бронз и условий их плавки растворимость водорода в них может достигать 20 см³ на 100 г сплава. С повышением температуры интенсивность взаимодействия с газами увеличивается; взаимодействию с газами наиболее подвержены алюминиевые и кремниевые бронзы и латуни.

Для защиты от окисления плавку медных сплавов ведут под покровом древесного угля или флюсов на основе фторидов, стекла или соды. Чтобы предупредить образование твердых нерастворимых оксидов, медь перед введением легирующих элементов раскисляют 0,1—0,15% фосфора.

Для очистки расплавов от растворенного водорода и твердых неметаллических включений их подвергают продувке газами, вакуумированию, обработке флюсами и фильтрованию. Наиболее глубокую очистку расплавов дает фильтрование через зернистые фильтры из фторидов кальция и магния. Фильтры перед использованием подогревают до 700—800 °С.

Медные сплавы модифицируют с целью измельчения зерен и нейтрализации вредных примесей. Для измельчения зерна в сплавы вводят 0,15—0,2 % тугоплавких элементов (Ti, V, Zr, B, W, Mo). Для нейтрализации вредного влияния примесей висмута, сурьмы, мышьяка и свинца в двойные латуни вводят до 0,2 % кальция, до 0,3 % церия или 0,4 % циркония.

Технология изготовления фасонных отливок во многом определяется интервалом кристаллизации сплавов и их склонностью к окислению в процессе заполнения литейных форм. Для сплавов с узким интервалом кристаллизации (латуни ЛЦ40С, алюминиевых бронз и латуней) характерно образование сосредоточенных усадочных раковин и почти полное отсутствие пористости. Изготовление отливок из таких сплавов требует установки в тепловых узлах массивных прибылей. Сплавы с широким интервалом кристаллизации (оловянные бронзы, медно-никелевые сплавы, кремнистые бронзы и др.).

склонны к образованию рассеянной газоусадочной пористости, предотвратить появление которой с помощью прибылей затруднительно. Поэтому отливки из этих сплавов изготавливают с малыми по объему прибылями или без них.

Алюминиевые бронзы и другие сплавы с легкоокисляющимися компонентами заливают через расширяющиеся литниковые системы, предназначенные для отделения оксидных плен и обеспечения минимально допустимой скорости течения металла на выходе из питателей. Как правило, используют расширяющиеся литниковые системы с нижним или сифонным подводом металла; предусматривают устройство центробежных шлакоуловителей, установку сеток и зернистых фильтров. Более простые литниковые системы применяют при литье оловянных бронз.

При медленном охлаждении медные сплавы (кроме кремнистых бронз и латуней и оловянных бронз с высоким содержанием олова) не склонны к образованию горячих трещин. При резком охлаждении трещинообразованию более подвержены сплавы с широким интервалом кристаллизации. По этой причине их почти не применяют для литья в кокиль и под давлением.

Для создания направленной кристаллизации при литье в разовые формы, широко используют холодильники. Разовые формы изготавливают из мелкозернистых смесей с высоким содержанием глины (до 12 %). В целях борьбы с пригаром в смеси для форм вводят до 2 % мазута. Для этой же цели на рабочую поверхность высушенных форм наносят графитовые покрытия. Мелкие и сложные отливки из медных сплавов получают в оболочковых формах и литьем по выплавляемым моделям.

ОТЛИВКИ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Современное металлургическое предприятие является не только крупномасштабным, но и высокомеханизированным и автоматизированным, объединяющим различные производства от подготовки рудного сырья до готового проката. Другой отличительной чертой современных предприятий черной металлургии, обуславливающей непременное использование разнообразных машин и механизмов, является их оснащение агрегатами большой единичной мощности.

В различных подъемно-транспортных машинах и технологическом оборудовании, значительная часть которого работает в тяжелых условиях, многие детали необходимо периодически заменять. В большинстве случаев заготовки для них отливают на ремонтных базах горно-обогатительных и металлургических комбинатов (заводов), в составе которых имеются литейные цехи. Большая часть этих сменных деталей представляет собой обычные машиностроительные отливки, производство которых рассмотрено в предыдущих главах. Однако часть сменного оборудования, прежде всего прокатные валки и изложницы, в силу предъявляемых к ним специфических требований характеризуются определенными особенностями производства.

1. ПРОКАТНЫЕ ВАЛКИ

Прокатные металлургические валки, как правило, изготавливают литыми. Разнообразные условия их службы (тип клетки и стана, положение в стане, прокатываемый сплав, вид продукции и т. д.) обуславливают как конструкцию валка, так и выбор литейного сплава, из которого его изготавливают. Однако все валки должны иметь износо- и термостойкий рабочий слой, вязкую прочную сердцевину и шейки. Валки подразделяют по назначению (листопрокатные и сортопрокатные), конструкции (гладкие и калиброванные), роду металла (чугуны, стали легированные и нелегированные), макростроению (полутвердые, отбеленные, двухслойные). Перечисление классификационных признаков можно было бы продолжить, но приведенные являются основными.

Литые стальные валки изготавливают из нелегированных и легированных сталей, содержащих 0,4—2 % углерода. В зависимости от концентрации углерода и легирующих элементов структура этих сталей изменяется от перлитно-ферритной до перлитной с включениями карбидной фазы. Валки из доэвтектоидных сталей имеют низкую износостойкость, но хорошо выдерживают ударные нагрузки. Валки из заэвтектоидных более твердых сталей подвергают сложной термообработке в целях размельчения карбидов, их сфероидизации для повышения вязкости стали.

Наиболее широко распространены литые валки из различных чугунов. Применение именно этого сплава позволяет получать изделия, сочетающие высокую твердость и износостойкость рабочего слоя (валки с отбеленной поверхностью) с достаточно прочной сердцевиной. В России отливки валков с отбеленной поверхностью впервые были осуществлены в 1812 г. на Олонецких заводах.

Вследствие большой чувствительности чугунов к скорости охлаждения, их структура и механические свойства существенно изменяются от поверхности к середине. По структуре сечение валка можно разбить на три зоны:

- наружную из белого чугуна (перлит и цементит);
- переходную из половинчатого чугуна (перлит, цементит, графит);
- сердцевину из серого чугуна, в котором отсутствуют включения структурно свободного цементита.

Регулировать структуру и свойства можно, изменяя химсостав чугуна и скорость охлаждения валка.

Основная масса материала валка должна обеспечивать общую высокую механическую прочность, что может быть достигнуто методами и технологическими приемами, описанными выше (лекции 13, 14). Большое значение наряду со структурой металлической матрицы чугуна имеет количество и форма графита. Общая прочность валка будет определяться размерами отбеленного слоя и переходной зоны. При значительном отбеленном слое возрастает опасность поломки; таким образом, для увеличения механической прочности желательно уменьшать слой отбела. Но для надлежащей износостойкости поверхность должна быть достаточно твердой. Основное влияние на износостойкость оказывают свойства чугуна в зоне чистого отбела и величина последнего. Твердость рабочего слоя с чистым отбелом составляет 58—65 HSD.

В переходной зоне металл будет более хрупким, чем в сердцевине, из-за наличия цементита, а на износостойкость эта зона практически не влияет. Поэтому для обеспечения износостойкости и эксплуатационной прочности валков с отбеленной поверхностью целесообразно иметь переходную зону минимальных размеров. Показатель качества таких валков $A_k = x/(x + z)$, где x — глубина чистого отбела, z — толщина переходной зоны.

Глубина отбеленного слоя бочки листопркатных валков обычно составляет 10—32 мм. При меньшей глубине отбела сокращается срок службы ввиду износа, а при его увеличении возрастает опасность поломки. Главная причина состоит в том, что с увеличением толщины отбеленного слоя непропорционально повышается и глубина переходной зоны, снижающей общую прочность валка. Удовлетворительное качество валков соответствует значениям $A_k = 0,25 \div 0,45$. Листопркатные валки с чистым отбелом в рабочем слое применяют при получении холоднокатаного тонкого листа. В толстолистовых станах часто используют валки, поверхностная твердость которых может быть несколько ниже (50—55 HSD), что обеспечивается

формированием поверхностного (рабочего) слоя, являющегося по структуре половинчатым чугуном (перлит, цементит и графит). В этом случае решающее значение имеет высокая механическая прочность валка, снижающая вероятность поломок.

В соответствии с изложенным в чугуне для валков с чистым отбелом содержится, %: 2,7—3,1 С, 0,4—0,6 Si, 0,3—0,5 Mn, 0,4—0,5 Р, до 0,1 S. Половинчатый чугун в рабочем слое формируется при увеличении содержания кремния до 1 %. С целью повышения термостойкости и общей прочности валков чугун дополнительно легируют 0,3—0,5 % Мо. Кроме серого чугуна с пластинчатым графитом широко применяют чугун с шаровидным графитом. Из этого литейного сплава можно изготавливать валки с отбеленным слоем регламентированных размеров и валки со структурой половинчатого чугуна в рабочем слое. По составу применяемый высокопрочный чугун с шаровидным графитом является доэвтектическим, но концентрация углерода и кремния в нем более высокая (3,1—3,5 % С, 0,8—1,8 % Si).

Как уже отмечалось, износостойкость валков определяется твердостью отбеленного слоя, максимальное значение которой при использовании нелегированных чугунов достигает 70 *HSD*. Такую твердость можно получить у валков, диаметр бочки которых не превышает 500 мм. В связи с совершенствованием станов непрерывной и полунепрерывной прокатки потребовались более долговечные валки высокой твердости (90—95 *HSD*). Валки для этих станов отливают двухслойными. Наружный слой формируется из чугуна, легированного хромом, никелем, молибденом, а центральная зона — из серого чугуна. Получение двухслойных валков потребовало разработки специальной технологии.

Сортопрокатные валки изготавливают из нелегированных чугунов с регламентированным (20—40 мм) отбеленным рабочим слоем и легированных со структурой половинчатых чугунов в рабочем слое. В качестве основных легирующих элементов применяют хром, никель, а для повышения термостойкости и прочности используют молибден (0,3—0,6 %), ванадий (0,15—0,40 %) и медь (0,8—1,4 %).

Сортопрокатные валки отливаются как с гладкой бочкой, в которых калибры вытачивают посредством механической обработки, так и с литыми профилированными калибрами.

Изменение твердости сортопрокатных валков достигается изменением степени легирования чугуна и теплового сопротивления стенки литейной формы путем нанесения на нее слоя теплоизоляционной краски (обмазки).

Сортопрокатные валки из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом имеют более высокую прочность и износостойкость. Твердость чугуна от наружной поверхности к середине валка изменяется менее интенсивно, чем в валках из чугуна с пластинчатым графитом.

Заметное повышение износостойкости валков достигается применением высокохромистых чугунов, имеющих структуру тонкодисперсного перлита с равномерными включениями карбидов хрома или хромистой эвтектики.

В последнее время все шире применяют бандажированные валки, изготавливаемые как методом горячей посадки бандажа (бочки) на отдельно изготовленную ось, так и путем заливки чугуна в литейную форму с установленной в ней осью. Последний способ значительно проще, но требует специальных приемов, обеспечивающих протекание усадки бочки.

Как показано выше, для обеспечения долговечности практически всех типов металлургических валков их производят из отбеленного чугуна. Из многочисленных факторов, определяющих структуру чугуна валка, отметим лишь основные: химический состав сплава, режим его охлаждения в форме и условия подготовки сплава (шихтовые материалы, температурно-временная обработка и т. д.).

Из всех элементов, входящих в состав нелегированного чугуна, наиболее заметное влияние на отбеливаемость оказывают углерод и кремний. Эти элементы являются графитизаторами, и поэтому увеличение их концентрации вызывает уменьшение глубины отбеленной зоны.

Наряду с величиной отбела важна и другая его характеристика — твердость. Регулирование отбеливаемости углеродом является неудобным, так как повышенное содержание углерода снижает прочность сердцевины. Содержание углерода в чугуне для валков холодной прокатки, когда необходима высокая твердость поверхности, рекомендуется поддерживать в пределах 3—3,5 %. В чугуне для сортопрокатных валков, калибры которых вытачиваются, содержание углерода несколько ниже (2,7— 3 %), что обеспечивает более высокие механические свойства сердцевины и большую глубину отбела. Глубокий слой отбела необходим, чтобы избежать его прорезания при механической обработке.

Кремний в отличие от углерода практически не влияет на твердость отбеленного слоя, поэтому глубину отбела удобнее регулировать изменением его концентрации. Содержание этого элемента в чугунах для валков составляет 0,4—1 % и только в чугунах с шаровидным графитом достигает 2 %.

Концентрацию серы и фосфора желательно иметь минимальной, их допустимое содержание обуславливается используемой шихтой и типом плавильного агрегата.

Скорость охлаждения отливок валков регулируют изменением толщины стенки кокиля и слоя нанесенной на него краски. Толщина стенки кокиля обычно составляет 0,2—0,23 диаметра бочки. Краска на кокиль наносится слоем 0,5—10 мм, толщину этого слоя регулируют специальными шаблонами.

Особенности изготовления литейных форм. Для отливки валков применяют комбинированные формы (рис. 107). В песчаных частях формы выполняют нижнюю и верхнюю шейки, прибыль и литниковую систему.

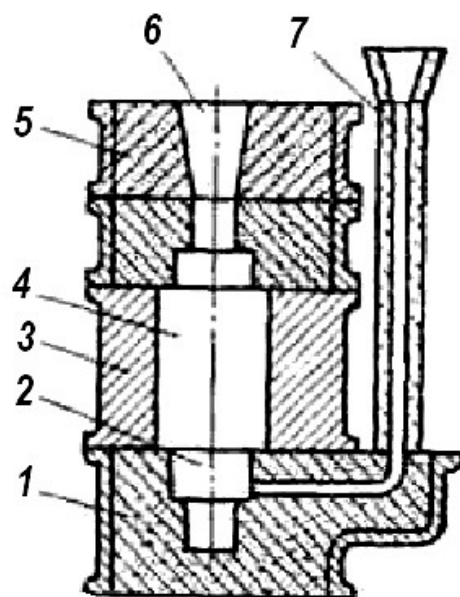


Рис. 107. Комбинированная форма для отливки листопрокатного валка с отбеленным слоем: 1 — нижняя песчаная полуформа шейки; 2 — шейка валка; 3 — цилиндрический кокиль бочки валка; 4 — бочка валка; 5 — верхняя песчаная полуформа; 6 — прибыль; 7 — стояк

Формы шеек, элементов литниковой системы и прибылей изготавливают в специальных опоках по моделям, с помощью трамбовок, пескометов, пуансонно-шнековых машин. Все элементы формы окрашивают графитовыми красками. Кокили, в зависимости от конфигурации бочки валка, могут быть гладкими, сплошными цилиндрическими или профилированными разъемными (рис. 108).

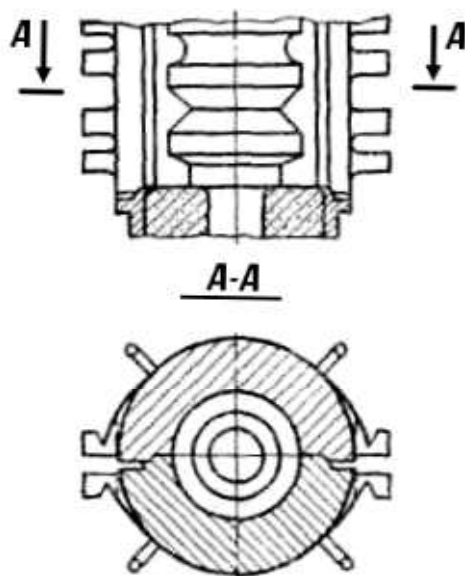


Рис. 108. Профилированные разъемные кокили бочки валка

Песчаные элементы формы сушатся при 300—400 °С, кокиль перед окраской и сборкой подогревают до 200—250 °С.

При отливке профилированных сортопрокатных валков во избежание образования внутренних напряжений и трещин кокили необходимо делать разъемными, допускающими протекание усадки валка при охлаждении его в форме. Подвижность отдельных частей кокиля достигается установкой в процессе сборки деревянных прокладок, которые выгорают.

Для выплавки чугуна можно применять практически все известные типы плавильных агрегатов, обеспечивающие получение расплава необходимого состава, перегрева и использование крупногабаритной шихты. Более стабильные результаты и гибкость производства обеспечиваются в цехах, оборудованных дуговыми и индукционными печами. При отливке двухслойных валков необходимо иметь расплавы разных составов для наружного слоя и сердцевины. Отбеливаемость чугуна при выплавке его для валков проверяется по специальной технологической пробе. Этот метод является одним из основных методов оценки качества расплава.

Технология получения двухслойных валков часто предусматривает промывку формы. Сначала ее полость заполняется чугуном, предназначенным для формирования рабочего слоя белого чугуна (легированного). После определенного времени форму промывают через ту же литниковую систему нелегированным (высококремнистым) чугуном, из которого формируют сердцевину валка, его шейки. Время начала промывки и ее продолжительность зависят от размеров валка. Чугун, которым промывают форму, вытесняет не затвердевший легированный чугун, и последний через желоб сливается в специальную емкость (рис. 109).

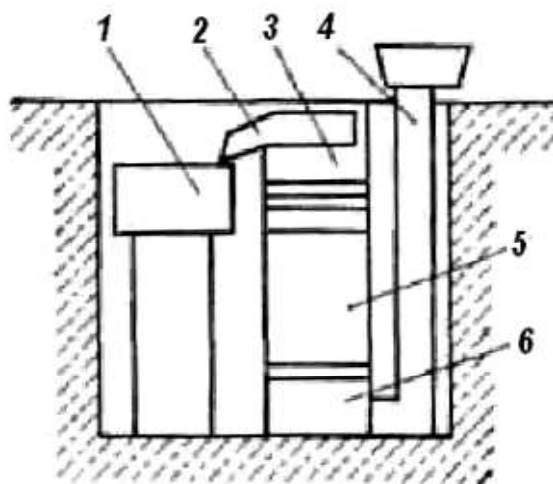


Рис. 109. Форма для получения двухслойных валков методом промывки: 1 — емкость для слива вытесняемого чугуна; 2 — сливной желоб; 3 — песчаная полуформа шейки и прибыли; 4 — стояк; 5 — кокиль бочки валка; 6 — песчаная полуформа шейки валка

Другая технология получения двухслойных валков — полупромывка. В этом случае чугуном, предназначенным для формирования рабочего наружного слоя бочки валка, форма заливается не полностью — до уровня верхней по заливке

шейки. По истечении времени, необходимого для затвердевания рабочего слоя, через ту же литниковую систему производится ступенчато (по 150—200 кг) доливка формы высококремнистым чугуном, который, смешиваясь с первоначально залитым, формирует центральную зону валка. По такой технологии изготавливают валки из чугуна с шаровидным графитом.

Продолжительность выдержки валка в форме определяется его размерами. Во избежание образования трещин температура бочки валка при выбивке не должна превышать 150 °С.

Центробежный способ отливки валков в отличие от стационарного позволяет:

- снизить расход легирующих элементов при производстве двухслойных валков, так как они расходуются в основном на получение рабочего слоя валка;
- снизить общий расход металла на отливку на 15—20 % вследствие отсутствия литниковой системы и прибылей;
- отливать без стержней многие типы пустотелых валков или бандажей для составных валков.

Для отливки валков применяют центробежные машины с горизонтальной, вертикальной и изменяющейся осями вращения.

Машина смонтирована на стальной раме 1. На ролики 2 укладывают кокиль 3, на наружной поверхности которого имеются два выступающих концентрических пояска. Каждый поясok опирается на два ролика 2, а сверху прижимается третьим 4. Кокиль получает вращение от приводного ролика 5, соединенного клиноременной передачей с двигателем постоянного тока, с регулируемой частотой вращения. Снаружи кокиль охлаждается водой.

На отечественных вальцелитейных заводах для отливки валков диаметром 200—450 и длиной 1100—2000 мм применяют роликовые центробежные машины с горизонтальной осью вращения (рис. 110).

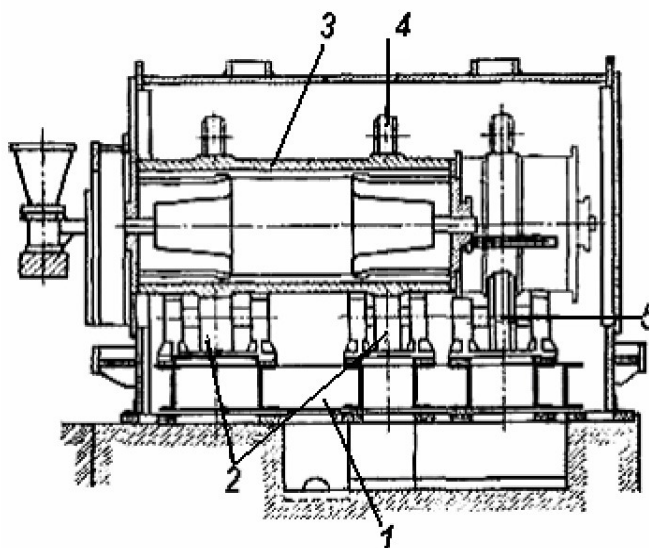


Рис. 110. Центробежная машина для отливки валков

При отливке валков на центробежных машинах с изменяющейся осью вращения наружный рабочий слой валка формируют при горизонтальном вращении формы, а сердцевину — при наклонном и вертикальном вращении с

меньшей частотой вращения. Такие машины нашли применение для отливки крупных листо- и сортопрокатных валков.

2. ПРОИЗВОДСТВО ИЗЛОЖНИЦ

Большая часть изложниц используется для получения слитков стали, предназначенных для последующей прокатки иковки.

Значительные объемы производства стали предопределили и большое потребление изложниц. Несмотря на все увеличивающееся внедрение непрерывных способов разливки, все же значительное количество стали будет разливаться в изложницы, например при получении крупнотоннажных слитков. Качество изложниц, продолжительность их службы определяют качество слитка и стоимость конечной продукции. Разнообразие конструкций, типоразмеров изложниц предъявляет существенные (иногда определяющие) требования к выбору материала и технологии их изготовления.

Анализ работы изложниц показывает, что основной причиной их выхода из строя является образование и развитие различных трещин. По этой причине выходит из строя ~90 % изложниц. А. А. Горшков предложил подразделить трещины на три рода.

Трещины первого рода возникают при резком одностороннем нагреве стенки. В изложнице они образуются во время заполнения сталью. Нагреваясь от последней с внутренней (рабочей) поверхности, чугун стремится расширяться, в результате чего в наружных, более холодных слоях стенки возникают растягивающие напряжения. Трещины первого рода проходят на всю глубину стенки и полностью разрушают изложницу.

Трещины второго рода, возникающие и развивающиеся с внутренней поверхности, постепенно увеличиваются (по глубине и протяженности) с увеличением числа теплосмен. Причиной их появления и роста являются также растягивающие напряжения, возникающие от торможения усадки чугуна во время быстрого охлаждения внутренней поверхности после извлечения слитка из изложницы.

Причиной образования трещин третьего рода считают циклически повторяющиеся нагрев и охлаждение чугуна с внутренней стороны стенки, вызывающие неравномерную пластическую деформацию отдельных зерен.

Совершенно очевидно, что описанные выше процессы осложняются физико-химическими процессами и прежде всего окислением поверхности трещин.

Возможность появления всех указанных выше трещин предопределяют условия работы изложницы. Распределение температуры по толщине ее стенки в различные периоды формирования слитка показано на рис. 111.

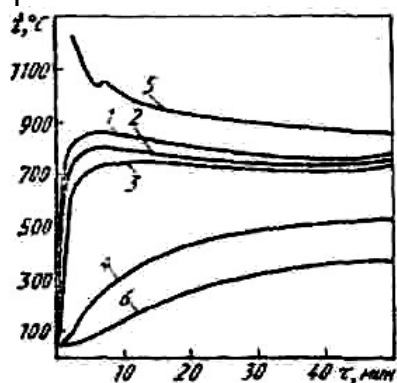


Рис. 111. Изменение температуры стенки изложницы для слитка массой 12,8 т: 1, 2, 3, 4, 5 — соответственно на глубине 2, 10, 20, 100 и 200 мм; 6 — поверхность слитка

Неравномерность и цикличность нагрева и охлаждения отдельных участков изложницы являются причиной развития термических напряжений, которые и вызывают появление трещин. Все другие факторы влияют только на скорость их развития. К числу таких факторов следует отнести наличие несплошностей, изменение фазового и химического состава при циклических нагревах, рост чугуна, механическое воздействие заливаемой стали и т. д.

В предыдущих главах было показано, что величина термических напряжений в отливке (изложнице) зависит от перепада температур (Δt) между отдельными ее частями или по сечению стенки, коэффициента термического сжатия (α), модуля упругости (E). Способность же выдерживать эти напряжения без разрушения характеризуется прочностью материала. Исходя из изложенного, способность материала выдерживать возникающие напряжения — стойкость против образования трещин B — должна быть прямо пропорциональна временному сопротивлению σ_v и обратно пропорциональна α , E , Δt . Отметим, что перепад температур определяется теплопроводностью материала λ , и чем выше λ , тем меньше разность температур разных частей (сечений) изложницы. Нельзя исключать возможность релаксации возникающих напряжений за счет работы пластической деформации. Повышенную пластичность δ сплава следует рассматривать как фактор, снижающий вероятность образования трещин. Следовательно, в общем виде функциональная зависимость стойкости материала против образования трещин

$$B = f[(\sigma_v \lambda \delta) / (E \alpha)].$$

Соответствующие характеристики материала следует учитывать именно в той температурной области, которая соответствует реальным условиям службы изложницы. Недооценка этого обстоятельства, т. е. суждение о стойкости материалов на основе сопоставления их характеристик при нормальной температуре, часто приводит к ошибочным выводам.

Определенные погрешности вносит также недоучет степени и полноты фазовых превращений и изменения структуры при циклическом нагреве и охлаждении. Следует подчеркнуть, что уделять особое внимание какой-либо одной или группе перечисленных выше характеристик необходимо с учетом условий эксплуатации и конструкции изложницы.

Главными показателями, определяющими стойкость материала изложницы, являются структура чугуна и его фазовый состав. Именно они влияют на E , σ_v , λ , δ , α . Наиболее доступные пути регулирования структуры — изменение химического состава и скорости охлаждения чугуна в форме.

По данным многочисленных исследований, степень эвтектичности чугуна для изложниц рекомендуется принимать близкой к единице (0,97—1,05). Достигать этих значений следует главным образом увеличением содержания углерода, не повышая концентрацию кремния более 2 %, ибо кремний, растворяясь в феррите, снижает теплопроводность чугуна и повышает его хрупкость. Концентрацию углерода и кремния в чугуне рекомендуется

поддерживать соответственно в пределах 3,4—4,2 и 1,4—2,2 %. В чугунах для изложниц массой более 3 т содержание углерода целесообразно поддерживать на верхнем, а кремний на нижнем пределе.

В отношении оптимальной концентрации марганца нет единого мнения. Следует отметить, что марганец стабилизирует перлит, упрочняет металлическую матрицу, в определенной мере нейтрализует серу. Опыт ряда металлургических заводов свидетельствует о положительном влиянии марганца (до 0,75 %) на стойкость изложниц. Фосфор и сера являются нежелательными примесями, поэтому их концентрация должна быть минимальной.

Влияние других легирующих элементов (Cr, Ni, Mo, V и др.) следует оценивать по их воздействию на структуру, степень графитизации, форму графита.

Выбирая состав и структуру чугуна не следует забывать, что необходимо стремиться к оптимальному сочетанию теплопроводности, пластических и прочностных свойств сплава. Изложницы из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом характеризуются более высокой по сравнению с серым чугуном (в 1,5—2 раза) стойкостью при производстве мелких и средних слитков. Однако стойкость изложниц из чугуна с пластинчатым графитом для крупных слитков (массой более 50 т) мало отличается от стойкости таких же изложниц из чугуна с шаровидным графитом.

Более перспективным материалом для изложниц, очевидно, является чугун с вермикулярным графитом. Особенностью этого материала является его более высокая (в 1,5 раза) теплопроводность по сравнению с чугуном, имеющим шаровидный графит. В то же время модуль упругости его значительно ниже.

Макро- и микроструктура чугуна, как было показано выше, кроме состава сплава определяется еще и условиями охлаждения.

В настоящее время на практике регулирование режима охлаждения ограничено применением кокилей, полупостоянных и разовых песчаных форм. Наибольшую стойкость имеют изложницы, полученные в разовых песчаных формах, поскольку в них формируется отливка с наибольшей степенью графитизации чугуна (ферритно-перлитная матрица) и минимальными остаточными напряжениями.

Особенности технологии изготовления изложниц. Условия службы изложниц, в отличие от различных чугунных отливок, определяют особенности технологии их производства.

Прежде всего, следует отметить, что наиболее целесообразным в технико-экономическом отношении является использование чугуна первой плавки, т. е. без последующего переплава в вагранках или других печах. Это, как правило, расплав с низким содержанием серы и фосфора, однако в нем повышено содержание углерода (до 4,7 %), который выделяется в виде спели, его температура чрезмерно высока и состав непостоянен. Все это вызывает необходимость дополнительной обработки расплава в ковшах (чугуновозах) или в специальных печах-отстойниках. Основным недостатком этого способа является большая продолжительность отстоя (3,5—4 ч) и, следовательно, потребность в большом количестве промежуточных агрегатов.

Наиболее прогрессивным способом является продувка чугуна инертными газами (N, Ar), позволяющая интенсифицировать спелевыделение, усреднить состав, введением охлаждающих добавок сократить время охлаждения до заданной температуры заливки в формы. В практике отечественного производства имеется опыт изготовления изложниц как из пердельных, так и из смеси пердельного и литейного чугунов.

Особенности выплавки чугуна для изложниц в вагранках вызваны необходимостью получения высокого содержания углерода, что достигается увеличением высоты горна. Не допускается высокий перегрев расплава (не выше 1300 °C на желобе), использование стального скрапа в завалке. Таким образом, приемы, применяемые для повышения свойств машиностроительных отливок, вызывающие увеличение количества связанного углерода, измельчение графита, в данном случае неприемлемы. Повышение температуры заливки свыше 1200 °C приводит не только к отрицательному влиянию на структуру, но и к ухудшению поверхности изложниц, увеличению литейных напряжений и появлению рыхлот. Заливку форм осуществляют из поворотных или стопорных ковшей через различные литниковые системы (сифонные, дождевые, на нескольких уровнях). Тип системы определяется, прежде всего, массой изложницы и ее конструкцией.

Из всех видов форм, используемых для отливки изложниц, наиболее распространены разовые песчаные формы, обеспечивающие высокое качество изложниц. Процесс изготовления таких форм максимально поддается механизации и автоматизации.

В зависимости от условий производства и конструкции изложницы распространение получили два способа изготовления форм: по чистой модели и раздельной оснастке. Формовочная смесь имеет следующий состав, %: 60—80 отработанной смеси, 5—20 кварцевого песка, 5—20 глины, иногда 10 % опилок. На поверхности полости литейной формы и стержня в два-три приема наносят графитсодержащие покрытия. После сборки формы подсушивают при 350 °C в течение 1—2 ч.

Залитые чугуном формы охлаждаются до выбивки в зависимости от массы изложницы в течение 24—100 ч. При ранней выбивке (при температуре 600—700 °C) стойкость изложниц снижается из-за высоких напряжений.

ОТЛИВКИ ДЛЯ ГОРНОРУДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1. Передняя стенка ковша экскаватора

Передняя стенка ковша экскаватора (рис. 1) является сменной деталью, работающей в условиях интенсивного истирания и больших ударных нагрузок, поэтому к ее качеству предъявляются высокие требования. Лучшим материалом для передних стенок является закаленная на аустенит высокомарганцевая сталь Гадфильда Г13Л (110Г13Л), обладающая наибольшей стойкостью против износа в условиях наклепа.

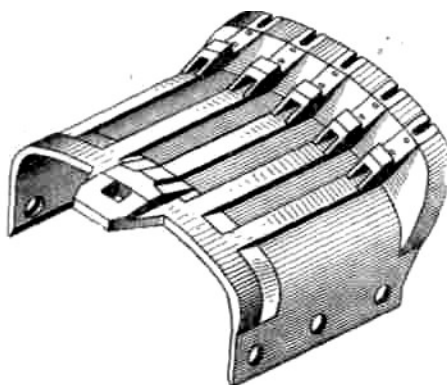


Рис. 1. Передняя стенка ковша экскаватора

Использование для передних стенок ковша стали Г13Л (ГОСТ 2176) в значительной степени осложняет технологию их изготовления. Во-первых, для сопряжения с задней стенкой и зубьями ковша экскаватора отливка при больших габаритных размерах (около 2 м) должны иметь минимальные отклонения от размеров по чертежу, так как механической обработке сталь Г13Л практически не поддается. Во-вторых, отливки из этой стали обладают повышенной склонностью к пригару из-за большой жидкотекучести и пониженного поверхностного натяжения, вызываемого окислами марганца. Кроме того, следует принимать во внимание повышенную усадку высокомарганцевой стали и ее склонность к образованию горячих трещин.

Передние стенки ковшей обычно отливают в литейных цехах заводов тяжелого машиностроения, выпускающих экскаваторы, а также на специализированных предприятиях горнометаллургического оборудования. На НТМК организован серийный выпуск стенок ковшей экскаваторов в фасоннолитейном цехе.

Ранее отливки изготавливали по обычной технологии с применением ручной формовки в почве под опокой. Такой способ малопроизводителен, не обеспечивает требуемого качества и точности размеров отливок. В связи с этим разработана и внедрена новая технология изготовления форм для передних стенок ковшей, в которой предусмотрено использование пневматической формовочной машины с грузоподъемностью стола при встряхивании 10 т. Набивка таких крупных форм на этих формовочных машинах по обычной

технологии невозможна. Поэтому на заводах тяжелого машиностроения формовка передних стенок ковшей производится на формовочных машинах грузоподъемностью до 40 т, а в литейных цехах металлургических предприятий, где такие машины отсутствуют, — в почве.

Особенности новой технологии (рис. 2) заключаются в следующем.

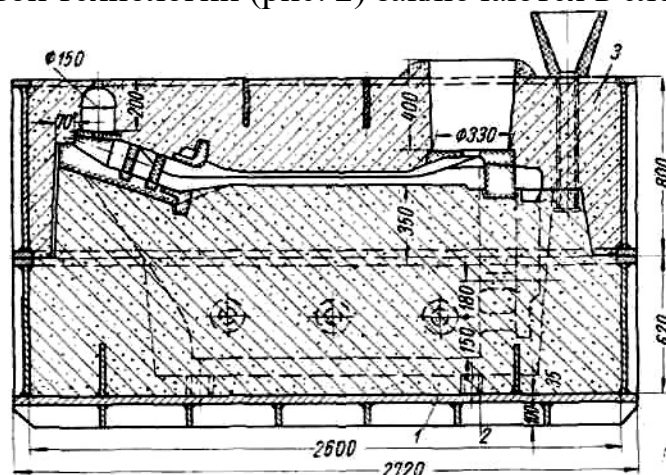


Рис. 2. Форма для отливки передней стенки

Для формовки используется специальная сварная опока облегченной конструкции с наглухо приваренной ребристой подмодельной плитой 1. Для правильной фиксации каркасной модели к нижней опоке приварены четыре направляющих втулки 2, а модель соответственно снабжена четырьмя центрирующими штырями. Нижняя опока с подмодельной плитой крепится к столу формовочной машины. Набивка производится на $\frac{3}{4}$ высоты болвана и опоки: оставшая $\frac{1}{4}$ высоты уплотняется пневматической трамбовкой через окна в модели. В результате исключается необходимость кантовки тяжелой нижней опоки. Набивка верхней полуформы 3 производится по отдельной деревянной модели, положение которой на подмодельной плите фиксируется обычными штырями.

В качестве противопригарного покрытия используется паста следующего состава в объемных процентах: 88 хромагнетитового порошка, 2 огнеупорной глины, 10 патоки. Паста разводится водой и наносится на поверхности формы пульверизатором. Применение хромагнетитового покрытия вместо маршалитовой краски резко сокращает объем обрубных работ по очистке от пригара.

Плавка стали Г13Л производится в электропечи. Для получения здоровых отливок необходимо выполнять следующие основные условия: плавку следует проводить на шлаках из извести и плавикового шпата; содержание закиси марганца в конечном шлаке не должно превышать 3,5%, а закиси железа 1,5%, что достигается при основности шлака не ниже 2. Плавку выпускают из печи только после получения удовлетворительной пробы металла на раскисленность (испытание на изгиб). Температура заливки металла ограничена пределами 1450—1470°C; измеряют температуру термопарой погружения с фиксацией результатов на потенциометре ЭПП-2. Закалка отливок производится с температуры 1060—1100 °C, причем, во избежание подстуживания,

продолжительность переноса деталей из печи до погружения в воду (температура воды должна быть 20—30 °С) не должна превышать 3 мин.

Применение приведенной технологии позволило увеличить производительность труда на формовочных работах в 3 раза, полностью обеспечить передними стенками экскаваторный парк горнорудных предприятий комбината и отказаться от нерегулярных поставок дорогостоящих отливок с машиностроительных заводов.

2. Скрепер

Скрепер является деталью, которая широко применяется в горнорудной и угольной промышленности, а также на предприятиях по добыче строительных материалов. В комплексе со скреперной лебедкой скрепер используется для перемещения больших масс горных пород и материалов. Условия работы его характеризуются большими ударными нагрузками и интенсивным истиранием, в результате чего продолжительность службы невелика (15—20 смен). Конструкции и размеры скреперов разнообразны: применяются сварные, сварно-клепанные и литые скреперы. Изготавливают их как из углеродистых, так и специальных легированных сталей

В фасоннолитейном цехе для нужд горных предприятий комбината организовано изготовление литых скреперов емкостью 0,4 м³ (рис. 3) из высокомарганцевой стали Г13Л.

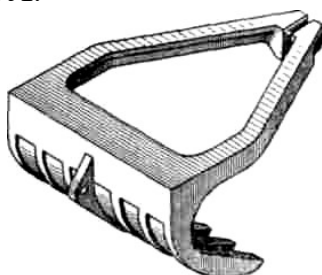


Рис. 3. Литой скрепер.

Технологией (рис. 4) предусмотрено изготовление песчаной формы по металлической модели со знаками и стержневыми ящиками.

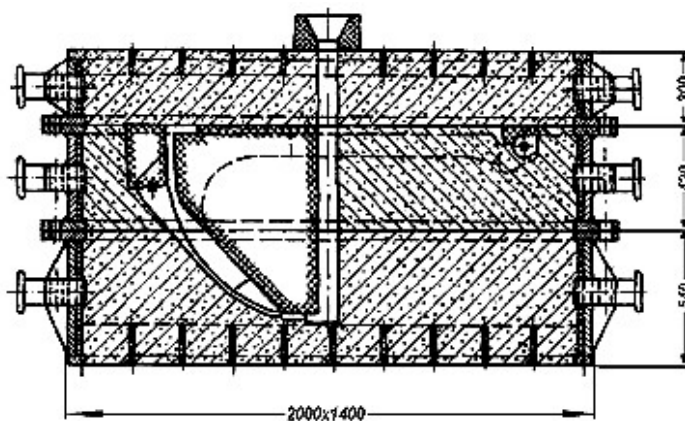


Рис. 4. Форма для отливки скрепера

Формовка осуществляется в облегченных опоках на формовочной машине грузоподъемностью 10 т; заливка производится в сырые формы стопорным ковшом; диаметр стакана 45—50 мм. Литниковая система выполнена на знаке на модели. Выдержка отливки в форме должна быть не менее 24 ч. Для термообработки скреперов применяется специальное приспособление, позволяющее выполнять одновременную закалку четырех отливок. Особенности плавки и режим термообработки приведены в описании технологии литья передней стенки ковша экскаватора.

3. Задняя стенка ковша экскаватора

Задняя стенка ковша экскаватора (рис. 5) относится к группе сложных и трудоемких отливок. Материалом для задней стенки служит углеродистая сталь марки 35Л. В условиях эксплуатации задняя стенка ковша подвергается большим ударным нагрузкам, поэтому выходит из строя и является сменной деталью.

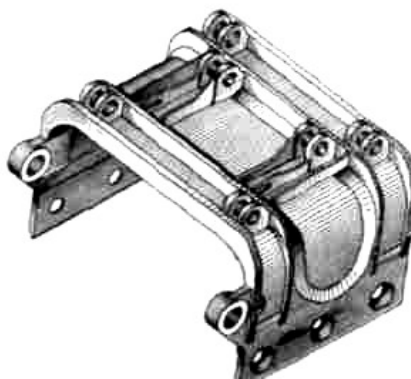


Рис. 5. Задняя стенка ковша экскаватора

Описываемая технология отливки задней стенки ковша (рис. 6) отличается от обычной типовой технологии расположением отливки в форме.

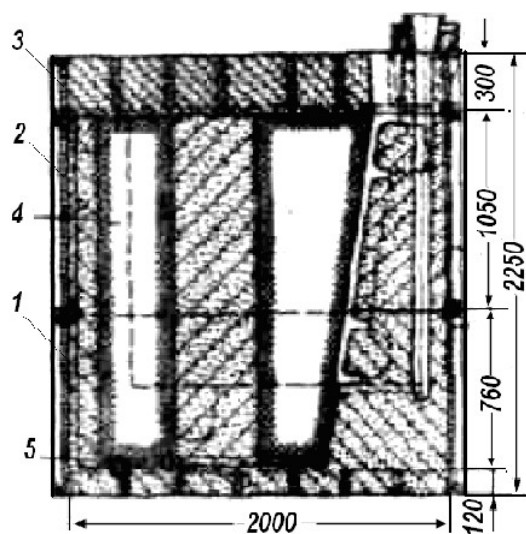


Рис. 6. Форма для отливки задней стенки

Как правило, задняя стенка формируется приливами вверх. Практикой установлено, что такое расположение усложняет питание отливки и не исключает появления усадочных раковин во всех узлах отливки. Кроме того, при горизонтальном разъеме модели усложняются формовочные работы, увеличивается трудоемкость изготовления формы, уменьшается выход годного в результате увеличения расхода металла на прибыли и искажаются размеры приливов после обрезки прибылей.

В описываемой технологии принято вертикальное расположение отливки в форме (рис. 6). Разъем формы прямолинейный. Формовка детали производится по деревянной модели на встряхивающей машине грузоподъемностью 10 т в трех сварных опоках (нижней 1, средней 2 и верхней 3). Боковая поверхность задней стенки с ребрами и приливами выполняется по отъемным частям модели и в стержнях. Внутренняя полость стенки образуется стержнем 4, имеющим внизу знак для правильного фиксирования ее в форме. Стержень изготавливают на этой же формовочной машине и устанавливают в форму всырую.

Ящик для формовки стержня 4 состоит из четырех литых строганых плит, скрепляемых болтами. В получаемую коробку вставляют отъемные деревянные части для получения ребер и приливов, а также литой каркас 5. Для уменьшения веса в стержне выполняется полость размером 800х400 мм по всей высоте. После установки стержня в форму часть полости плотно забивается формовочной смесью на высоту 300 мм от низа, а остальная часть ее засыпается сухим песком.

Литниковая система состоит из стояка диаметром 80 мм и двух литниковых ходов, выполненных шамотными трубками диаметром 40 мм. Заливка производится из ковша со стопором (диаметр стопорного отверстия 50 мм) при температуре 1520—1540 °С. Отливка выдерживается в форме 12 ч. Верхняя опока раскрепляется через 20 мин после окончания заливки.

Питание отливки осуществляется тремя прибылями, установленными на фланце. Образование усадочных раковин в узлах полностью исключается путем питания их от вертикальной стенки. Размеры приливов соответствуют чертежу.

Применение описанной технологии отливки задней стенки ковша обеспечивает повышение производительности труда на формовочных и стержневых работах в 3,5 раза в результате выполнения этих работ на формовочной машине. Одновременно повышается качество изготовления форм, и более точно соблюдаются геометрические размеры.

4. Концевая отливка рукояти

Концевая отливка рукояти (рис. 7) является одной из сменных деталей экскаваторов, работающих на горнорудных предприятиях (таких как СЭ-3, ЭК-4 и др.). Она служит для соединения концевой рукояти экскаватора с ковшом и в процессе эксплуатации подвергается большим динамическим нагрузкам. Черновой вес отливки 2,8 т, габаритные размеры 1830 х 1670 х 1050 мм, материал — сталь 35Л.

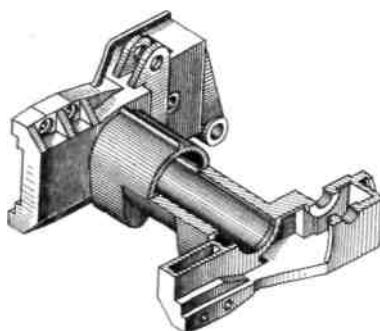


Рис. 7. Концевая отливка рукояти

По ранее принятой технологии формовку этой детали выполняли по неразъемной модели в почве под опокой; форму сушили газовыми горелками. При такой технологии производительность была низкой и потребность в отливках не была обеспечена.

В описываемой технологии изготовления формы (рис. 8) предусмотрено использование формовочной машины грузоподъемностью 10 т, что стало возможным в результате применения сварных облегченных опок 1 и 2. Модель отливки выполняется разъемной, поэтому, применяя координатную плиту размерами 2400X2600 мм, можно формовать низ и верх раздельно. Модели извлекают из полуформ мостовым краном.

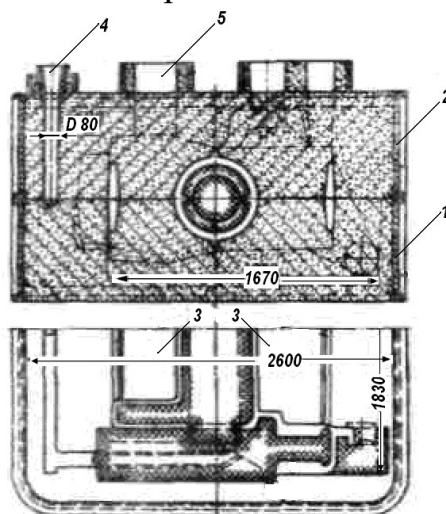


Рис. 8. Форма для концевой отливки рукояти

Одной из особенностей данной технологии является положение отливки в форме. Приливы, на которых подвешивается ковш экскаватора и разрушение которых при эксплуатации является одной из основных причин выхода отливок из строя, несколько усилены по конструкции и расположены в нижней части формы. В них литейные дефекты полностью отсутствуют, что трудно достичь при верхнем расположении приливов в форме.

При отливке в местах сопряжения цилиндрической части детали с боковинами коробчатой конструкции возникают трещины. Для предотвращения образования трещин в указанных местах ставят специальные

литые стяжки 3. При затрудненной усадке, обусловленной конструкцией отливки, эти стяжки воспринимают на себя растягивающие усилия, и возникновение трещин исключается. Кроме того, стяжки повышают жесткость модели при транспортировке и формовке, в результате чего сохраняется постоянство размеров отливок. После термической обработки детали стяжки удаляют огневой резкой.

Заливка производится через шамотную воронку 4 до заполнения прибылей на $\frac{1}{3}$ их высоты, затем металл доливают через прибыль 5 (с трехкратной допрессовкой). Температура заливки 1540—1560 °С. Через 20 мин после окончания заливки опоки раскрепляются; отливка выдерживается в форме в течение 10 ч.

Внедрение новой технологии в производство дало возможность повысить срок службы отливок, ликвидировать брак по трещинам, сократить на 30 % расход формовочной смеси и уменьшить трудозатраты на формовочных работах на 9,94 нормо-час.

ОТЛИВКИ ДЛЯ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. Горновой холодильник

Горновые холодильники предназначены для охлаждения кирпичной кладки доменной печи и повышения срока ее службы. По конструкции горновые холодильники представляют собой чугунные большие плиты, в которые заливаются змеевики из цельнотянутых труб. Концы труб выводят наружу для соединения холодильников с водоохлаждающей арматурой; устанавливают холодильники вертикально по высоте кожуха доменной печи. Для доменной печи с рабочим объемом 1719 м³ в комплект входят 72 горновых холодильника.

Основные требования к горновым холодильникам по техническим условиям следующие:

- а) стрела прогиба при короблении холодильника не должна превышать 30 мм;
- б) стальные трубы, залитые в холодильник, должны быть герметичными, что проверяется путем гидравлического испытания при давлении 6 ат.
- в) не допускается попадание металла в трубы.

Кроме того, техническими условиями установлены допуски на размеры отливок, литейные дефекты и т. д.

В фасоннолитейном цехе освоена технология отливки горновых холодильников увеличенных размеров (980х5750х160 мм, вес 5,75 т).

Для формовки удлиненных холодильников используют специально изготовленные стальные парные опоки 1 размерами 6300х1400 мм. Опоки и плита, на которой производится формовка, строганные (рис. 9).

Для облицовки применяется шамотная смесь следующего состава (в объемных %):

Шамотный порошок	66
Огнеупорная глина.....	22
Кварцевый песок	12

Физико-механические свойства смеси

Газопроницаемость	Не менее 140
Предел прочности по сырому, кГ/см ²	0,8—1,1
Влажность в %	10—12

Приготовленную форму красят углеродистой краской и просушивают в камерном сушиле при температуре 400 °С в течение 12—14 ч.

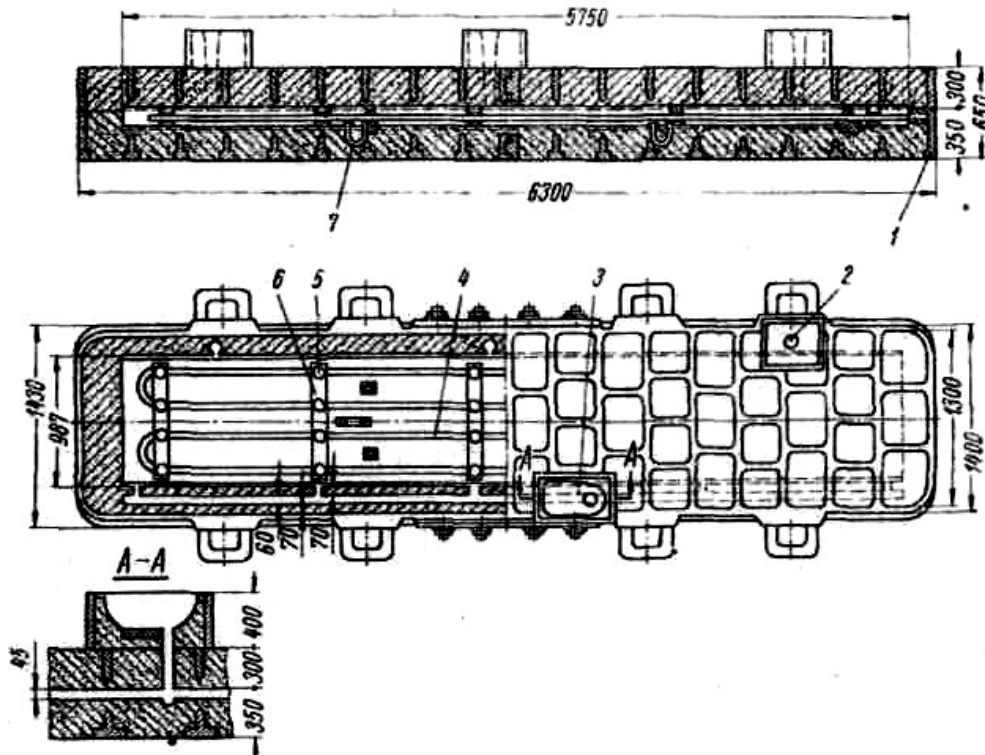


Рис. 9. Форма для горнового холодильника

Для обеспечения равномерного поступления металла в форму литниковая система рассредоточена по длине холодильника.

Устанавливаемые в форму стальные цельнотянутые трубы 4 предварительно сваривают между собой с двух сторон стальными пластинами 6 толщиной 10 мм и шириной 60—80 мм (по пять пластин сверху и снизу). На пластины приваривают распорные жеребейки-бобышки 5, представляющие собой цилиндрические пластинки диаметром 50 мм. Толщину этих бобышек устанавливают из такого расчета, чтобы трубы в форме находились в положении, требуемом по чертежу (в данном случае при толщине пластин 10 мм и диаметре труб 44 мм толщина бобышек равна 46 мм).

Перед установкой в форму сваренные трубы с пластинами окрашивают алюминиевой краской на жидком стекле и просушивают. Эту операцию повторяют дважды. Под бобышки труб в формы укладывают стальные пластинки (карточки) толщиной 2 мм размерами 100x100 мм. В нижней полуформе предусмотрена установка двух кованых скоб 7, предназначенных для транспортировки холодильника.

Собранную форму устанавливают наклонно в поперечном направлении под углом 10—15° таким образом, чтобы выпор 2 находился в верхнем положении по отношению к литниковой чаше 3. На верхнюю опоку устанавливают груз весом 15—20 т.

Заливка производится в подогретую форму чугуном, применяемым для отливки изложниц. Температура заливки 1180—1200 °С. При заливке производится двукратный перепуск металла через выпоры, чтобы обеспечить выход газов и получить плотную отливку. Отливка в форме остывает в течение 24 ч.

В результате применения рассредоточенной литниковой системы, устройства питателей в местах установки пластинок и относительно невысокой температуры заливки прогар труб полностью исключается.

Освоение данной технологии позволило в значительной степени упростить монтаж холодильников при ремонтах доменной печи и их обслуживание в процессе эксплуатации, так как количество холодильников в комплекте уменьшилось с 72 до 36.

2. Холодильник лещади

Холодильник лещади является новым элементом в конструкции современных доменных печей.

Назначение такого холодильника — охлаждать в процессе плавки лещади доменной печи путем продувки воздуха через систему залитых в холодильник труб. Практика показывает, что кладка лещади, оборудованной холодильниками, значительно меньше разъедается жидким чугуном.

Холодильники лещади, технология отливки которых приводится ниже, представляют собой плоские чугунные плиты толщиной 180 мм габаритными размерами 1160х4500 мм. Вес холодильника 7 т. В тело плиты заливаются цельнотянутые прямые трубы с наружным диаметром 114 мм и толщиной стенки 10 мм. Длина заливаемых труб 4700 мм. Для возможности транспортировки в холодильники заливают четыре стальные кованые скобы.

Основным требованием, которое предъявляется к холодильникам лещади, является минимальный допуск на размер между осями залитых труб (± 2 мм), так как в случае несоосности концов труб невозможно осуществить их стыковку в продольном направлении, путем надевания на трубы специальных муфт с последующей обваркой сопрягаемых поверхностей.

Обеспечение соосности труб при заливке формы большой массой жидкого чугуна является трудной задачей, так как при высокой температуре неизбежно сильное коробление труб, в результате чего межосевые размеры нарушаются.

Было опробовано несколько вариантов, прежде чем установили оптимальную технологию, обеспечивающую соосность труб в пределах технических требований.

Особенность технологии (рис. 10) заключается в том, что заливаемые трубы предварительно сваривают в единую жесткую конструкцию. Для этого вырезают две заготовки из швеллера №18 длиной по 1134 мм. В стенке

швеллера вырезают по диаметру труб 6 отверстий с требуемой точностью (в соответствии с чертежом отливки и допусками, установленными техническими требованиями). Концы труб вставляют в отверстия швеллеров и наглухо приваривают к ним. Чтобы избежать коробления труб в средней части отливки, к ним приваривают в поперечном направлении стальные полосы толщиной 10 мм и шириной 100 мм (по 3 полосы сверху и снизу). Роль жербеек, предупреждающих вертикальное смещение труб, выполняют приваренные пластинам стальные цилиндрические бобышки диаметром 50 мм и высотой 23 мм.

В остальном данная технология не отличается от приведенной выше технологии отливки горнового холодильника.

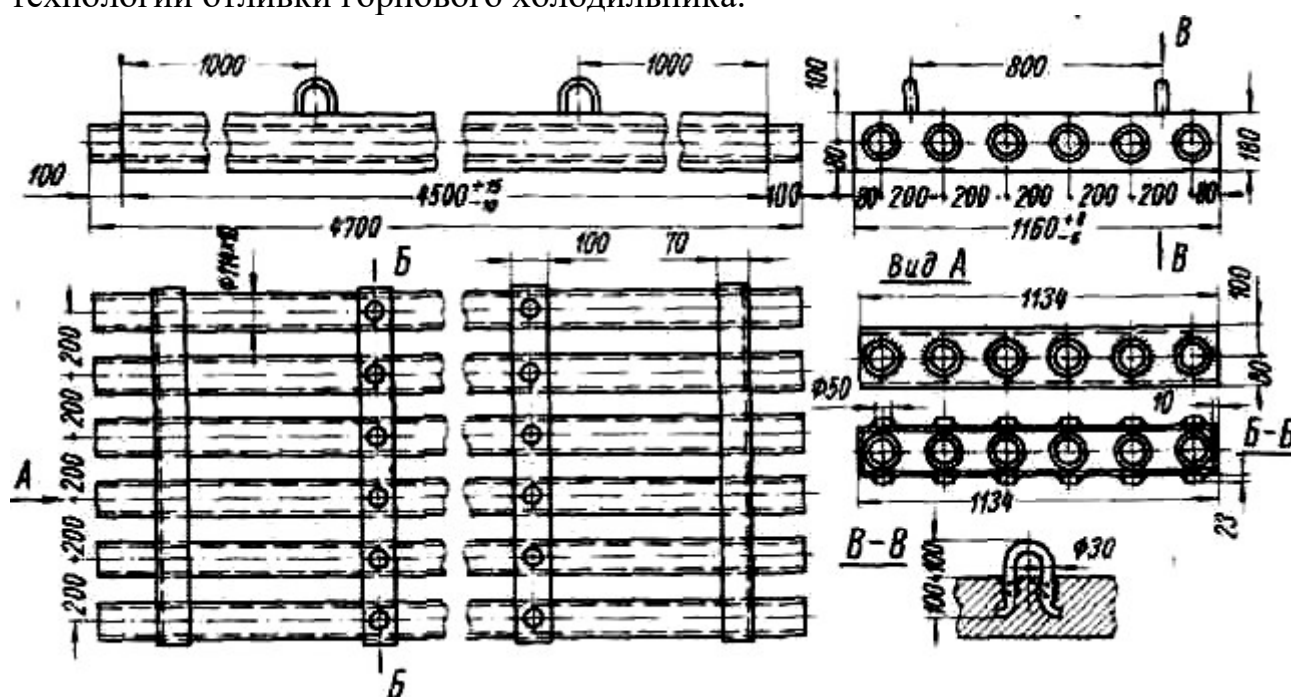


Рис. 10. Холодильник лещади

3. Холодильник шахты

Шахтные холодильники предназначены для охлаждения кладки в зоне шахты и от них в значительной степени зависит срок службы футеровки доменных печей. Форма и размеры применяемых холодильников чрезвычайно разнообразны. Обычно их изготавливают в виде плоских чугунных плит с относительно небольшими размерами (по сравнению с горновыми холодильниками и холодильниками лещади); в эти плиты, как правило, заливаются змеевики из цельнотянутых труб, по которым при эксплуатации доменных печей циркулирует охлаждающая вода. Для одной крупной доменной печи в комплект входит более 400 шахтных холодильников. Ниже приводятся технологические процессы на отливку двух типов шахтных холодильников, отличающихся по конструкции и размерам

Холодильник толщиной 110 мм. Этот холодильник небольших размеров (440x750x110 мм), что дает возможность упростить его отливку, используя форму (рис. 11 состоящую из двух основных частей — неразъемного кокиля 4 и

поддона 1, на котором устанавливается змеевик из труб 3. Поддон и кокиль литые, механической обработке они не подвергаются.

Цельнотянутые трубы диаметром 44,5 мм и толщиной стенки 6 мм изгибают в соответствии с чертежом и сваривают с монтажными скобами 2, которые закладывают между трубами. Правильность расположения труб в кокиле обеспечивается тем, что монтажные скобы опираются на перегородки в отверстиях поддона. Зазоры между трубами и стенками отверстий поддона заделывают формовочной смесью. Покрашенный и подогретый до температуры 60—80 °С кокиль устанавливают по направляющим приливам; по плоскости разреза предварительно прокладывают слой глины.

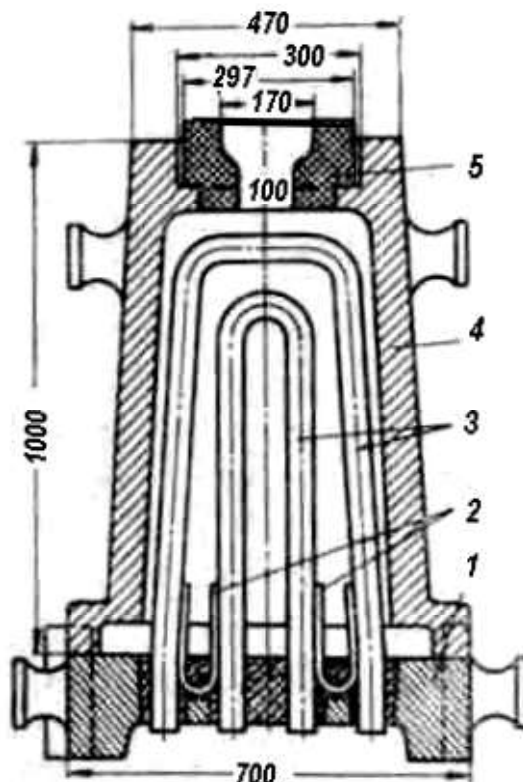


Рис. 11. Форма для отливки малого шахтного холодильника

Литниковая чаша 5 выполняется в стержне, который изготовляют из обычной стержневой смеси и устанавливают в верхней части кокиля. Заливка производится через щелевой литник сечением 10x100 мм. К преимуществам данной технологии можно отнести высокую производительность (продолжительность общего цикла изготовления отливки 20—25 мин) и полное отсутствие литейных дефектов в виде плен, раковин, засоров и т. п.

Холодильник толщиной 74 мм. Этот холодильник усовершенствованной конструкции предназначен для крупных доменных печей в качестве замены холодильников, описанных в предыдущем случае. Он выполняется в виде плиты, горизонтальное сечение которой представляет кольцевой сектор. Габаритные размеры холодильника 1500x700x74 мм, вес 467 кг.

Основным требованием, предъявляемым к этому холодильнику, является прямолинейность прилегающих к кирпичной кладке поверхностей, а также жесткий допуск по толщине (74 + 1), так как толщина холодильника

обуславливается толщиной шамотного кирпича, используемого для кладки шахты. Для отливки таких холодильников разработана специальная технология (рис. 12).

Заливка производится в вертикальном положении. Форма для отливки состоит из трех основных частей: поддона 2, в который устанавливается сварная конструкция из цельнотянутых водоохлаждающих труб 3 наружным диаметром 44,5 мм, и двух строганных плит 1, обеспечивающих получение необходимой конфигурации боковых поверхностей холодильника. Верхний торец холодильника образуется стержнем 5 с десятью литниковыми отверстиями диаметром по 20 мм (для рассредоточения металла, поступающего в форму при заливке).

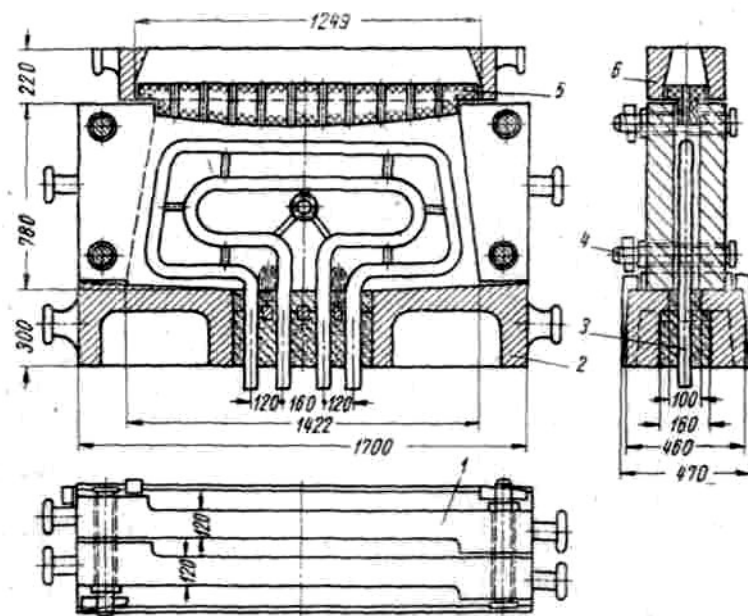


Рис. 12. Форма для отливки шахтного холодильника увеличенных размеров

Сборку формы выполняют в следующей последовательности. На ровную площадку строго по уровню устанавливают поддон. В отверстия поддона по специальному шаблону вставляют концы труб, предварительно покрашенных алюминиевой краской на жидком стекле. Зазоры между трубами и стенками отверстий в поддоне заделывают обычной формовочной смесью.

Плиты подогревают до температуры 60—80 °С, окрашивают углеродистой краской, разведенной на жидком стекле, затем с двух сторон скрепляют болтами с клиньями 4 (диаметр болтов 60 мм, длина 500 мм) и устанавливают на поддон по имеющимся на нем приливам. При проверке положения змеевика руководствуются толщиной тела холодильника по чертежу, после чего трубы расчековывают жеребейками. Затем устанавливают стержень с литниковыми отверстиями и чугунный корпус литниковой чаши 6; щели между ними заделывают тестообразным раствором огнеупорной глины и просушивают газовыми горелками.

Заливка в форму производится при температуре чугуна 1240—1260 °С;

продолжительность заливки определяется из расчета подъема металла в форме со скоростью около 15 мм/сек и составляет 45—50 сек. Разборка кокиля и извлечение отливки производятся через 25—30 мин после окончания заливки.

Применение данной технологии обеспечивает высокую производительность и получение холодильников в полном соответствии с техническими условиями. Однако большая контактная поверхность плит с заливаемым металлом вызывает ускоренное коробление их. Несмотря на то, что каждая из плит значительно массивнее по сравнению с отливкой (в 1,6 раза толще и в 2,6 раза тяжелее), уже после нескольких первых заливок металла эти плиты коробятся и, естественно, невозможно получение отливок с необходимыми размерами. Чтобы избежать этого, в данной технологии предусмотрена двусторонняя механическая обработка рабочих поверхностей плит.

При каждой сборке формы рабочие поверхности плит проверяют на прямолинейность и, если коробление этих поверхностей достигает 1—2 мм, то сборка выполняется противоположными сторонами плит. Толщина холодильников получается при этом в пределах установленных допусков, а плиты коробятся в противоположную сторону и, таким образом, могут быть использованы в течение продолжительного времени. Кроме того, для повышения стойкости в плиты заливается специальная арматура из стального листа толщиной 20 мм.

Такой технологический прием может быть использован при конструировании кокилей и для других отливок с относительно большими боковыми поверхностями.

4. Сопло фурменного пояса.

Сопла фурменного пояса служат для ввода нагретого воздуха в горн доменной печи. Конструктивно дутьевые сопла выполняют в виде пустотелых цилиндров различных длин и диаметров. Механическим нагрузкам сопла не подвергаются, и при нормальных условиях эксплуатации они выходят из строя исключительно от постепенного разрушения стенок вследствие интенсивной коррозии в потоке горячего воздуха.

Из-за специфики работы литейных цехов металлургических заводов ограничены возможности технологов в выборе надлежащего материала для сопел, обладающего повышенной жаростойкостью. В связи с этим сопла отливают преимущественно из обычного серого чугуна марок СЧ 15-32 или СЧ 18-36 (ГОСТ 1412), следовательно они обладают недостаточной стойкостью.

Основные требования к отливкам, предъявляемые техническими условиями (по химическому составу чугуна, по допускам и размерам, по качеству поверхности и по отсутствию дефектов в виде раковин, спаев, заворотов и трещин), не вызывают особых трудностей при изготовлении сопел. Вследствие взятого доменщиками в последнее время курса на интенсификацию доменной плавки путем повышения давления и температуры дутья резко повысились требования к стойкости сопел. Замена сопла производится при остановке печи, на что требуется, как и на замену фурмы, не менее 40—50 мин.

При температуре дутья 600—700 °С и давлении 1,5—2 ат продолжительность

службы сопел из обычного серого чугуна составляла примерно 6—7 месяцев. В настоящее время давление воздуха на крупных доменных печах поднялось до 2,8 ат, а температура до 1050 °С. Естественно, что при таких условиях необходимо изыскивать дополнительные резервы повышения стойкости сопел.

В фасоннолитейном цехе НТМК разработана и внедрена в производство технология отливки дутьевых сопел с футеровкой внутренней поверхности специальными шамотными кольцевыми кирпичами (рис. 13).

Формовка кольцевых кирпичей производится в специально изготовленных для этой цели штампах. Толщина кольцевого кирпича 20 мм, длина 130 мм; на выпуклой поверхности кирпичей имеются по две поперечных канавки для проволоки, которой шамотные кирпичи закрепляются на поверхности песчаного стержня.

Формовка сопел длиной 1545 мм производится в парных опоках / размерами 550х2200х260 мм по металлической половине модели на подмодельной плите. В подмодельной плите предусмотрены штыри, которые обеспечивают правильность сборки полуформ. Для формовки стержня 6 используют разъемный стержневой ящик с окном в верхней части.

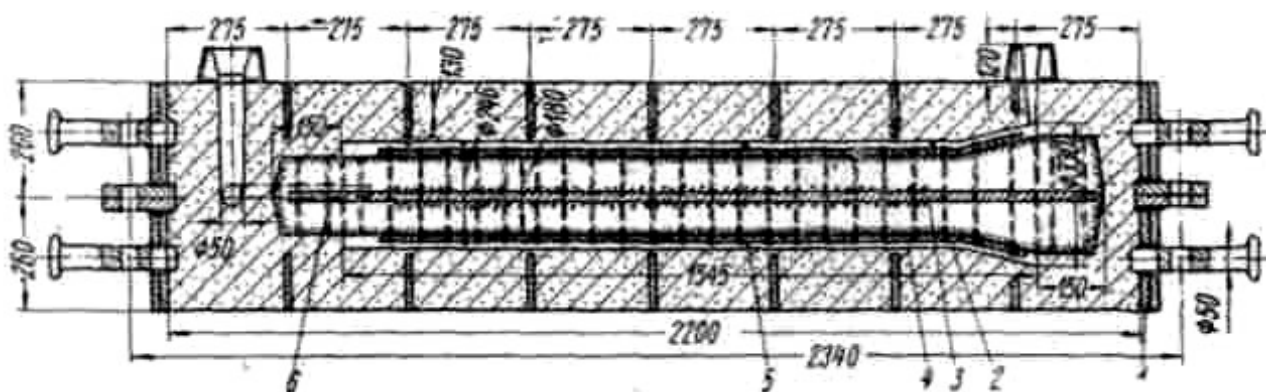


Рис. 13. Форма для отливки футерованного дутьевого сопла

Перед началом набивки стержня в нижнюю часть ящика укладывают мягкую проволоку 4 диаметром 2—3 мм и кольцевые шамотные кирпичи 2. Для придания необходимой жесткости в стержень, длина которого со знаками составляет 1845 мм, устанавливают каркас 3; для облегчения выхода газов в центральной части стержня прокладывают коксовую мелочь. После окончания формовки стержня снимают верхнюю часть стержневого ящика и каждый ряд кирпичей увязывают по окружности заранее проложенной проволокой. Стержень в местах отсутствия кирпича красят углеродистой краской, после чего подвергают сушке при температуре 300 °С в течение 4 ч.

При сборке формы стержень для обеспечения равномерности устанавливают в знаки и раскрепляют жеребейками 5: внизу устанавливают две жеребейки, по бокам и сверху по четыре. Размер жеребеек 30x30 мм, высота 15 мм (по толщине металлической части стенки сопла). Литниковая система состоит из стояка диаметром 50 мм и двух питателей, выполненных в верхней полуформе по плоскости разъема. Сечение питателя трапециевидное (основания 50 и 40

мм, высота 15 мм). Опоки скрепляют четырьмя скобами, затем устанавливают литниковую воронку и выпор. Готовую форму устанавливают наклонно к горизонту (под углом 15—20°) с повышением к выпору.

Температура заливки 1280—1300 °С (по оптическому пирометру).

После окончания заливки производится подпрессовка.

Применение описанного технологического процесса обеспечивает получение точных размеров отливки и исключает разностенность. Продолжительность службы футерованных сопел в исключительно трудных условиях эксплуатации составляет не менее года.

5. Чаша большого конуса доменной печи

Цельнолитые чаши большого конуса представляют собой полый усеченный конус со стенками толщиной 55 мм. По размерам чаша относится к крупногабаритным отливкам; диаметр ее 5700 мм, высота 2500 мм, черновой вес 28 т. Особенность этих отливок заключается в том, что их трудно транспортировать, а порой и невозможно. Поэтому цельнолитые чаши, как правило, отливают непосредственно на металлургических заводах, для чего в мартеновских цехах оборудуют специальные литейные участки.

Составные чаши (из двух частей) применяются реже, так как в местах соединения двух частей наблюдаются продувы газа, вызывающие преждевременную остановку печи.

Для отливки цельнолитых чаш (рис. 14) необходимо иметь железобетонный кессон 1, оборудованный анкерными болтовыми соединениями для скрепления собранной формы в момент заливки. В форме отливка 2 располагается _кверху_ утолщенным верхним фланцем, на котором устанавливают соответствующие прибыли. На дне кессона устанавливают постель для вывода газов. Наружная боковая часть формы набивается по деревянному косяку, который по мере набивки поворачивается. После набивки наружную часть формы выравнивают шаблоном. Для правильной установки косяков и шаблона в центре кессона имеется гнездо со втулкой 5. В гнездо устанавливают вал 9 диаметром 160 мм, длиной 5000 мм. На вал надевают рукава, к которым крепится шаблон. Контур нижнего фланца выполняется стержнями 6.

Внутренняя часть формы чаши может выполняться двумя способами.

Первый способ — получение внутренней части формы при помощи 10—14 стержней, которые нижней частью устанавливаются в знак формы, а верхней частью упираются в жеребейки, соответствующие толщине стенки. После установки всех стержней в центр ставят металлическую царгу, а пространство между царгой и стержнями уплотняют формовочной смесью. Недостатки этого способа следующие:

- 1) повышенная трудоемкость, связанная с изготовлением большого количества стержней;
- 2) сложность сборки стержней и возможность засорения форм;
- 3) большие трудозатраты на удаление заливов, которые образуются потому, что между стержнями отливки имеются щели.

Этот способ применяют там, где отсутствуют краны большой грузоподъемности.

Второй способ — изготовление внутренней части формы набивкой болвана на фальшивой форме, которая получается путем обкладки всей формы вертикально установленными досками, толщина которых соответствует толщине стенки чаши. Для извлечения набитого болвана из формы перед набивкой в нее устанавливают специальный сварной каркас 7. Суммарное усилие при извлечении заформованного болвана достигает 140 т. При набивке болвана, как и в первом способе, устанавливают металлическую царгу 8. Для правильной установки каркаса в форме, 20а также для извлечения его из формы и последующей сборки, в центре каркаса приваривают втулку 3 диаметром 162 мм, которая, скользя по валу, направляет болван в нужное положение. Такое устройство гарантирует правильную установку болвана в форме.

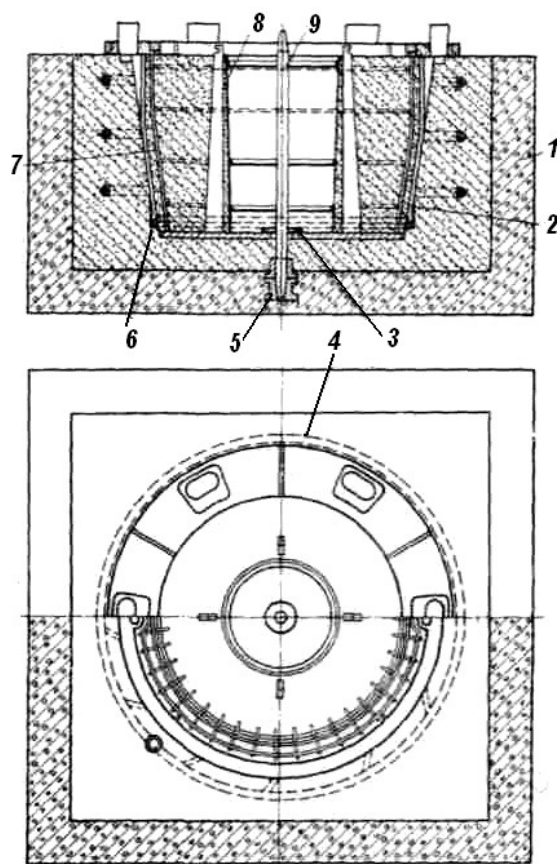


Рис. 14. Форма для отливки чаши большого конуса

Второй способ имеет значительное преимущество перед первым, так как установка болвана производится достаточно точно и полностью отсутствуют внутренние заливы и засоры, неизбежные при сборке большого количества стержней. Однако для применения этого способа формовки необходимы краны большой грузоподъемности.

Литниковая система 4 делается разветвленной в три яруса. Такая система обеспечивает равномерное поступление жидкого металла, исключаются перегревы отдельных зон и образование вертикальных горячих трещин. Литниковая система выполняется в шамотных трубках с наружной стороны.

Для получения плотной структуры в увеличенном нижнем сечении чаши в кроющей части ее устанавливают внутренние холодильники в виде спиралей из проволоки диаметром 6 мм и прутков диаметром 10—12 мм. Заливка производится углеродистой качественной конструкционной сталью марки 30сп (ГОСТ 1050) при температуре 1530—1540 °С. По истечении 45 мин после заливки металлическая царга подрывается краном из болвана, а верхняя опока раскрепляется через час.

Переход на отливку чаш по второму способу обеспечивает значительное снижение трудоемкости формовочных и обрубных работ.

6. Малый конус доменной печи

Малый конус распределительного устройства служит для регулирования подачи шихты и одновременно является герметическим затвором в доменной печи. При эксплуатации малые конуса подвергаются систематическому воздействию шихтовых материалов (руды, кокса и флюсов), которые, ударяясь о рабочую поверхность конуса, вызывают его деформацию и износ (истирание). Малые конуса выходят из строя главным образом по продувам газа с пылью по кроющей части конуса, поэтому в этих местах на конусах из углеродистой стали делают наплавку сормайтом с последующим шлифованием.

Для возможности надевания на штангу конуса делают разъемными по вертикали с последующим соединением болтами.

Технология отливки малых конусов трудоемкая. Отливка (рис. 15) располагается в форме вершиной вверх, что позволяет получить плотную нижнюю часть конуса, которая находится при эксплуатации в наиболее неблагоприятных условиях. Форму изготавливают по скелетной модели с прибылью и знаками в сварных опоках размерами 2500х2500 мм.

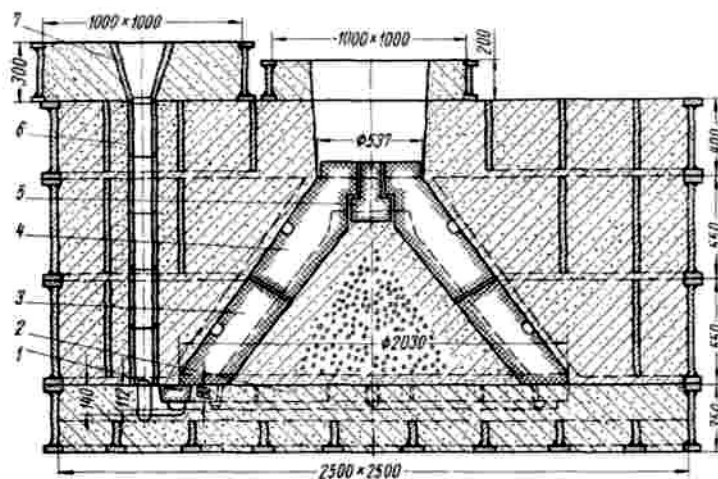


Рис. 15. Форма для отливки малого конуса

Процесс изготовления конуса состоит из следующих операций. Нижнюю опоку набивают формовочной смесью, на нее устанавливают каркасную модель таким образом, чтобы разъем проходил по нижнему торцу конуса.

С целью создания надлежащих условий для вентиляции болвана во

внутреннюю часть его при формовке засыпают коксовую мелочь. Излишек формовочной смеси срезают. Разъем формы и поверхность болвана покрывают разделительным песком. В окна скелетной модели устанавливают деревянные щиты, толщина которых соответствует толщине тела конуса, затем накладывают две опоки-рамки, устанавливают стояк 6 из шамотных трубок и набивают опоки. Плоскость разъема формы отделяют и посыпают разделительным слоем сухого кварцевого песка. Далее набивается верхняя опока с установкой прибыли и литниковой чаши 7.

Изготовленная форма разбирается, снимается модель. Производится тщательная отделка формы, исключая искажение контура. Вся форма прошивается гвоздями длиной 100—120 мм шагом 50х50 мм.

В сырую форму устанавливают разделительные стержни 3 и 4, стержень 5, образующий отверстие в верхней части конуса, стержень 1, перекрывающий литниковый ход, и стержни 2, образующие нижний торец отливки. Форма направляется в сушило, где сушится в течение 8 ч при температуре 400 °С. Заливка производится из ковша со стопорным отверстием диаметром 55 мм.

Скорость заливки должна быть не менее 50 кг/сек. Заливка через стояк производится до выхода металла в прибыль на 100—150 мм, после чего металл заливается в прибыль. Отливку выдерживают в опоках 36 ч.

Питатели удаляют до термообработки. Литые стяжки, предохраняющие конус от коробления, удаляют после термообработки.

7. Воздушная амбразура

Воздушная амбатура является одной из основных деталей фурменного устройства доменной печи. Амбатура представляет собой охлаждаемую водой арматуру, в которую вставляется фурма, поэтому она имеет и другое название — фурменный холодильник. По конструкции амбатура не имеет существенного отличия от фурмы, толщина стенок у них одинаковая, а остальные размеры амбатуры значительно больше, чем у фурмы. Для доменной печи комплект амбатур соответствует количеству фурм и в зависимости от объема печи достигает 20 шт.

Амбатура работает в условиях высоких температур (1200—1250 °С) и в процессе эксплуатации подвергается непрерывному охлаждению водой. Длительность службы амбатуры зависит как от условий эксплуатации (регулярности подачи охлаждающей воды, ее температуры, давления и жесткости), так и от многочисленных факторов ее изготовления, основные из которых следующие: теплопроводность материала отливки, разностенность, наличие внутренних литейных пороков и наличие пригара на поверхности водоохлаждаемой полости.

Главной причиной выхода амбатур из строя является прогар передней части, работающей в более неблагоприятных температурных условиях по сравнению с тыльной частью, поэтому на передней части никакие литейные дефекты не допускаются.

Обязательный контроль качества отлитых амбатур производится после

предварительной приемки по наружному виду и размерам. Для этой цели амбразуры подвергают гидравлическому испытанию, причем величину контрольного давления устанавливают на заводах в зависимости от условий работы амбразур (параметров дутьевого режима, размеров печи и конструктивных особенностей). В частности, в описываемом случае проверка амбразур на герметичность производится гидравлическим испытанием под давлением 12 ат с выдержкой не менее 5 мин; при появлении «потения» амбразуры бракуются.

Амбразуры, отлитые в разовые песчаные формы по ранее применяемой технологии, при гидравлическом испытании на плотность выдерживали не более 6—8 ат; причем значительную часть отливок подвергали ремонту путем дополнительной заварки, чеканки и опрессовки жидким стеклом.

В связи с повышением требований к плотности отливок была разработана новая технология отливки амбразур в металлическую форму (рис. 16). Форма состоит из следующих частей: чугунного кокиля, верхнего кольца, центрального стержня с литниковой системой и кольцевого стержня.

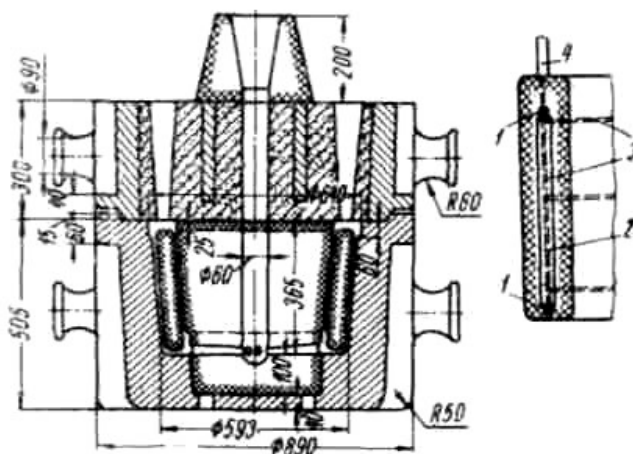


Рис. 16. Форма для отливки воздушной амбразуры

Приготовление кольцевого стержня. Кольцевой стержень работает в исключительно тяжелых условиях (полностью обливается металлом), поэтому к его качеству предъявляются повышенные требования, выполнение которых возможно лишь при тщательном, соблюдении установленной технологии.

Для приготовления кольцевого стержня исходными материалами служат кварцевый песок (марки 1К02Б или 2К02Б) и картофельный крахмал. Соотношение составляющих в весовых частях следующее: на 10 кг сухого кварцевого песка расходуется 70 г крахмала. Крахмал берется в виде клейстера, который готовится следующим образом. Берут навеску крахмала весом 550 г и разводят в 1,5 л холодной воды при тщательном перемешивании, затем нагревают 3 л воды и при кипении в эту воду заливают разведенный крахмал при непрерывном перемешивании. Продолжительность кипячения крахмала должна быть не менее 1,5 мин, после чего клейстер охлаждают до температуры 20 °С. Смесь готовят в смешивающих бегунах; продолжительность перемешивания 15 мин.

Физико-механические свойства смеси должны быть следующими:

газопроницаемость не менее 330 см/мин; предел прочности на разрыв всухую 2—4 кГ/см²; влажность 3,5—4,5 %.

Стержень изготавливают по разборному деревянному ящику, тщательно очищенному от земли и пыли. Рабочие поверхности ящика протирают керосином, а затем натирают графитом. В собранный ящик устанавливают проволочный каркас 3, изготовленный из проволоки диаметром 3 мм, в виде колец и четырех вертикальных стоек и деревянный болван, образующий внутреннюю поверхность стержня. Затем засыпают и утрамбовывают стержневую смесь на высоту 30 мм от низа, после чего по окружности каркаса устанавливают 12 планок шириной 30 мм и толщиной 7 мм. Эти планки предназначены для образования внутри стержня вертикальных вентиляционных каналов 2. С этой же целью под планки по окружности стержня укладывают парафиновый фитиль 1 диаметром 7—8 мм, который после сушки образует в кольцевом стержне полость, соединяющую все вертикальные вентиляционные канавки.

После установки планок засыпают и уплотняют стержневую смесь до уровня на 70 мм ниже верхнего торца стержневого ящика. Планки извлекают из стержня и укладывают второй парафиновый фитиль таким образом, чтобы он перекрыл отверстия, образованные планками. Затем стержневой ящик набивают смесью до верха, излишек смеси удаляют, торцовую поверхность стержня смачивают сульфитным щелоком и проशीливают. После извлечения болвана производится отделка внутренней поверхности стержня, которую затем обильно присыпают графитом и полость стержня засыпают горелой землей.

Верх ящика накрывают металлическим кругом, скрепленным с ящиком специальными струбцинами; ящик поворачивают на 180° и устанавливают на сушильную тележку. Донную часть ящика отнимают и проशीливают торец стержня гвоздями диаметром 2—3 мм и длиной 40 мм. Вагонетку закатывают в сушило, где отнимают боковые стенки ящика и подвергают тщательной отделке наружную поверхность стержня.

Сушка кольцевого стержня выполняется по следующему режиму: двухчасовое повышение температуры до 180—200 °С, четырехчасовая выдержка при этой температуре и медленное охлаждение (с печью). После сушки из стержня выбивают горелую землю, стержень красят углеродистой краской и подвергают повторной сушке при 200 °С в течение 2 ч. После повторной сушки стержень натирают графитовой пастой и прокаливают при температуре 280—300 °С в течение 2—3 ч.

Приготовление центрального стержня. Центральный стержень изготавливают по разборному деревянному ящику из обычной стержневой смеси со следующими физико-механическими свойствами: газопроницаемость не менее 100 см/мин; предел прочности на сжатие всухую 0,4—0,6 кГ/см²; влажность 4,5—5,5 %. При формовке центрального стержня в нем выполняют литниковую систему, состоящую из стояка диаметром 60 мм и шести радиально расположенных питателей сечением 30х40 мм. Сушка центрального стержня производится совместно с кольцевым стержнем.

Подготовка кокиля и сборка формы. Рабочую поверхность кокиля очищают

металлическими щетками от следов краски, ржавчины, пыли и обдувают сжатым воздухом. На очищенную рабочую поверхность кокиля наносят графитовую краску толщиной слоя около 1 мм. Краска состоит из 96 % олифы и 4 % графита. Кокиль подогревают газовыми горелками до температуры 60—80 °С и перед сборкой красят вторично.

В подогретый кокиль на четыре луженые жеребейки устанавливают кольцевой стержень. Специальным шаблоном тщательно проверяют правильность установки стержня относительно боковой поверхности кокиля, чтобы обеспечить равенство стенок отливки. Чтобы избежать горизонтального смещения, между кольцевым стержнем и внутренней поверхностью кокиля вставляют три жеребейки. Затем устанавливают центральный стержень и шаблоном вновь проверяют тело отливки между кольцевым и центральным стержнями. На верхний торец кольцевого стержня устанавливают четыре жеребейки, и кокиль накрывают верхней полуформой, после чего устанавливают четыре газоотводные трубы 4 (рис. 16) и литниковую чашу.

После полной сборки формы кокиль нагревают до температуры не ниже 170—180 °С, причем газ отключают не позднее чем за 20 мин до заливки амбразуры для выравнивания температуры в стенках кокиля. Перед заливкой термопарой проверяют температуру кокиля, которая должна быть не менее 150 °С.

Практикой установлено, что при температуре кокиля менее 150 °С увеличивается опасность возникновения вертикальных горячих трещин в отливках. Это объясняется следующим. При отливке в кокиль такой тонкостенной отливки, как воздушная амбразура, очень трудно осуществить рациональное питание. При сифонной заливке металл, поступающий из питателей, создает горячие узлы в виде вертикальных участков над этими питателями. Вследствие затрудненного питания тонкостенной отливки от прибылей наиболее разогретые участки в определенный период кристаллизации сплава сами играют роль прибылей для соседних менее нагретых участков отливки, затвердевающих в первую очередь. В результате на стенках отливок в местах подвода металла образуются ярко выраженные вертикальные усадочные канавки шириной 3—5 мм и глубиной около 2 мм, а в отдельных случаях — сквозные трещины. Если же температура кокиля при заливке превышает 150 °С, то указанные дефекты на отливке не образуются.

Для замеров температуры кокилей в цехе используют хромель-копелевые термопары касания или, как их называют, поверхностные термопары в комплекте с милливольтметром, градуировка которого выполнена в градусах Цельсия. Хромель-копелевая термопара при относительно небольшой разнице температур холодного и горячего спаев (до 200°) развивает большую термоэлектродвижущую силу, в результате чего обеспечивается надежность показаний.

Перед заливкой форму накрывают листовым асбестом, чтобы избежать попадания в полость формы окисленных сплесков металла.

Плавка. Для отливки амбразур в качестве материала используют сплав красной меди, содержащий не менее 97,5 % меди, 1,5—2 % олова (вводимого для улучшения механических и технологических свойств сплава) и не более 1

% примесей. Исходными материалами для плавки служат переплав красной меди, отходы цеха (бракованные отливки, прибыли, литники) и возврат цехов в виде отработанных медных деталей (фурм, амбразур, шиберов и т.п.). Для раскисления применяется фосфористая медь.

Подготовка шихты заключается в очистке от влаги, масла, песка и окислов меди, вызывающих интенсивное газонасыщение сплава. Вес одного куска загружаемой шихты не должен превышать 30 кг.

Плавка производится в графитовом тигле емкостью 500 кг, устанавливаемом в отопляемый газом тигельный горн. На дно тигля загружают прокаленный древесный уголь слоем 30—50 мм и чушки переплава. Для обеспечения более плотной укладки шихтовых материалов в промежутки между чушками загружают медный лом. Шихту в тигле засыпают древесным углем до полного покрытия поверхности, тигель с шихтой накрывают колпаком из старого использованного тигля.

По мере расплавления шихты и оседания ее в тигель догружают лом, предварительно подогретый на крышке горна. Плавку ведут форсированно; на протяжении плавки необходимо постоянно поддерживать древесноугольный покров на всей поверхности металла.

Для определения качества приготовленного металла берут пробу на газонасыщенность, которую заливают в сухую песчаную форму. Размеры пробы: диаметр 40 мм, высота 100 мм. По виду поверхности металла в застывшей пробе устанавливают степень газонасыщенности. Вогнутая поверхность характеризует нормальное насыщение металла газами, плоская или выпуклая шероховатая поверхность свидетельствует о повышенной газонасыщенности металла. В случае повышенной газонасыщенности металл разливают в чугунные изложницы с последующим переплавом полученных чушек.

При получении положительных результатов испытания пробы и при достижении необходимой температуры тигель извлекают из горна, удаляют шлак и древесноугольное покрытие. Раскисление металла производится фосфористой медью в количестве 0,2—0,3 % от веса жидкого металла. Перед разливкой металла берут пробу для химического анализа.

Разливка. Температура разливки должна быть в пределах 1160—1180 °С; температуру замеряют термпарой погружения.

При заливке формы необходимо следить за тем, чтобы струя была возможно большего сечения, короткой и непрерывной; стояк и чашу следует держать заполненными металлом во время всего периода заливки. При заливке форм шлак следует задерживать сцищалкой у носка ковша. Продолжительность заливки не должна превышать 30 сек. Отливку надо извлекать из формы не позднее чем через 25 мин после окончания заливки.

При отливке по приведенной технологии обеспечивается получение здоровых отливок с плотной структурой, чистой и гладкой поверхностью, с точно выдержанными размерами. Все отливки выдерживают гидравлические испытания при давлении 12 ат и имеют повышенную стойкость в эксплуатации.

ОТЛИВКИ ДЛЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. Одноместный поддон

Одноместные (индивидуальные) поддоны используют в сталеплавильных цехах для разливки кипящей стали сверху в сквозные изложницы. Конструктивно одноместный поддон выполняют в виде плиты, габаритные размеры которой соответствуют наружному контуру устанавливаемой на него изложницы; толщина поддонов колеблется от 200 до 400 мм.

Фиксация поддонов на сталеразливочных тележках (для предотвращения смещения поддонов и для обеспечения правильного центрирования струи при двустопорной разливке) обеспечивается наличием на опорной поверхности поддонов специальных приливов, которые вставляются в отверстия рамы тележки. Для возможности транспортировки поддоны изготавливают с цапфами (литыми и коваными), с отверстиями (для захвата крюками) или со вставными коваными скобами. Верхняя (рабочая) поверхность поддона обычно снабжается различными приливами, которые фиксируют устанавливаемую изложницу в строго определенном положении. Отношение веса поддона к весу слитка на различных заводах колеблется в пределах 0,25—0,45, а расход достигает в отдельных случаях 4,5—5,0 кг на тонну разлитой стали.

Основными требованиями, предъявляемыми к поддонам, являются прямолинейность рабочей поверхности (чтобы обеспечить минимальный зазор между торцом изложницы и поддоном во избежание прошибов) и высокая эксплуатационная стойкость.

Такие поддоны выходят из строя исключительно из-за размыва центральной части рабочей поверхности струей стали, падающей при разливке с высоты 2,5—3 м. Для уменьшения размывающего действия струи на рабочую поверхность поддона обычно укладывают вкладыш толщиной 15—20 мм, вырезаемый из отходов листовой стали по внутренним размерам сквозной изложницы, которую устанавливают на этот поддон.

Практика показывает, что разливка на одноместные поддоны без применения вкладышей снижает их стойкость в 3—4 раза. Проверкой возможности ликвидации вкладышей путем замены их отливкой поддонов со сферическим углублением в центре рабочей поверхности установлено, что стойкость таких поддонов несколько увеличивается вследствие более быстрого образования в углублении подушки жидкой стали, которая смягчает размывающее действие падающей струи. Однако повышение стойкости поддона за счет сферического углубления незначительно и экономически выгоднее использовать одноместные

поддоны с вкладышами.

Отливка одноместных поддонов производится в разовые или полупостоянные формы из чугуна, применяемого в производстве изложниц.

В литейном цехе НТМК освоена технология отливки одноместных поддонов облегченной конструкции в металлическую форму (рис. 17).

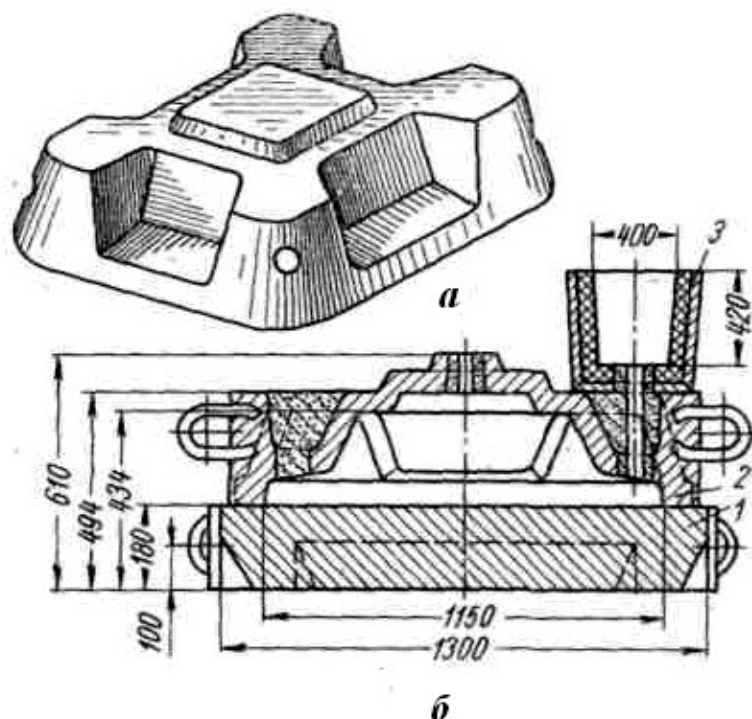


Рис. 17. Одноместный поддон (а) и кокиль для его отливки (б)

Ранее применяемая конструкция поддона представляла плиту толщиной 250 мм с габаритными размерами 1080x1150 мм и с вертикальными боковыми стенками. Изменение конструкции осуществлено путем скоса боковых стенок и ликвидации балластных участков поддона под стенкой устанавливаемой на него изложницы. В результате реконструкции вес поддона с 2300 кг уменьшился до 1550 кг, т. е. на 33 %. Стойкость поддонов в эксплуатации при этом не ухудшилась и осталась в пределах 120—130 плавов, а удельный расход с 2,5 кг/т снизился до 1,6 кг/т.

Технология отливки заключается в следующем. На чугунную строганную плиту 1 устанавливают фасонный стальной кокиль 2. Кокиль выполняют равностенным по конфигурации поддона (толщина стенки 60 мм). Перед сборкой внутреннюю поверхность кокиля и рабочую поверхность плиты окрашивают углеродистой краской, разведенной на жидком стекле. Кокиль и плиту скрепляют коваными скобами. Готовую форму перед заливкой подогревают до температуры 60—80 °С. Заливка производится при температуре 1230—1250 °С через литниковую чашу 3; для контроля при заливке заполнения металлом полости формы, а также для выхода газов в верхней части кокиля предусмотрен выпор.

При данной технологии обеспечивается получение поддонов в полном соответствии с требованиями технических условий при минимальных трудозатратах. Кокиль выдерживает 260—300 заливок.

2. Поддоны для сифонной разливки

На поддоны для сифонной разливки одновременно устанавливают несколько изложниц. В зависимости от имеющегося разливочного оборудования и веса

отливаемых слитков количество изложниц, устанавливаемых на один поддон, колеблется от 2 до 60. Как правило, большое количество изложниц устанавливают при отливке относительно мелких слитков в стационарной канаве.

Конструктивно поддоны выполняют в виде квадратных, прямоугольных и круглых чугунных плит толщиной до 350 мм. На рабочей поверхности поддонов имеются канавки (называемые также ручьями или лучами), в которые укладывается сифонная проводка. Вертикальное сечение канавок колеблется от 90х90 до 135х135 мм; обычно в центре поддона имеется углубление для шамотной звездочки, предназначенной для соединения сифонных проводок с общим каналом в центровой. Для транспортировки поддоны снабжаются скобами, цапфами (литыми и вставными) или отверстиями.

В процессе эксплуатации поддоны нагреваются неравномерно. Верхняя часть поддонов, особенно при установке сквозных изложниц, нагревается быстрее и сильнее, чем нижняя, поэтому механизм разрушения поддона одинаков с механизмом разрушения изложницы. Основной причиной выхода поддонов из строя является образование трещин по канавкам в местах нагрева слитками. Первоначально трещины возникают в углах канавок, а несколько позднее в средней части, где устанавливаются изложницы.

Объемные изменения чугуна при резких температурных колебаниях вызывают дугообразный выгиб граней канавки при каждом цикле и образование трещин. Чем длиннее канавка на поддоне, тем больше на ней появляется трещин, сначала небольших в виде волосовин, а затем интенсивно развивающихся до браковочных пределов в результате окисления и роста чугуна. В связи с этим удельный расход поддонов для сифонной разливки колеблется от 0,5 кг/т при установке относительно небольших глуходонных изложниц до 7—8 кг/т при установке крупных сквозных изложниц.

Основными требованиями, предъявляемыми к поддонам, являются чистота и прямолинейность рабочей поверхности (в пределах 2—3 мм на погонный метр), точность выполнения канавок по сечению и повышенная стойкость против разгаров и трещин.

Для отливки поддонов применяют разовые, полупостоянные и комбинированные формы. В данной работе приведены технологические процессы отливки поддонов в полупостоянную форму и на металлическую плиту по опыту фасоннолитейного цеха НТМК.

Отливаемые поддоны толщиной 170—240 мм имеют габаритные размеры в пределах от 2550х2750 до 3200х3250 мм и вес от 5170 до 13190 кг. При этом поддоны с габаритными размерами свыше 3х3 м отливают в полупостоянные формы, а поддоны с меньшими габаритными размерами — на металлическую плиту. Это объясняется тем, что при увеличении размеров плиты сверх указанного предела коробление ее при заливке формы превышает допуски, установленные на прямолинейность поддона, а использование крупногабаритных плит с жесткой конструкцией нецелесообразно (из-за трудностей при отливке, транспортировке и механической обработке) и экономически невыгодно.

На рис. 18 показана полупостоянная форма для отливки восьмиходового поддона габаритными размерами 3200х3250х200 мм.

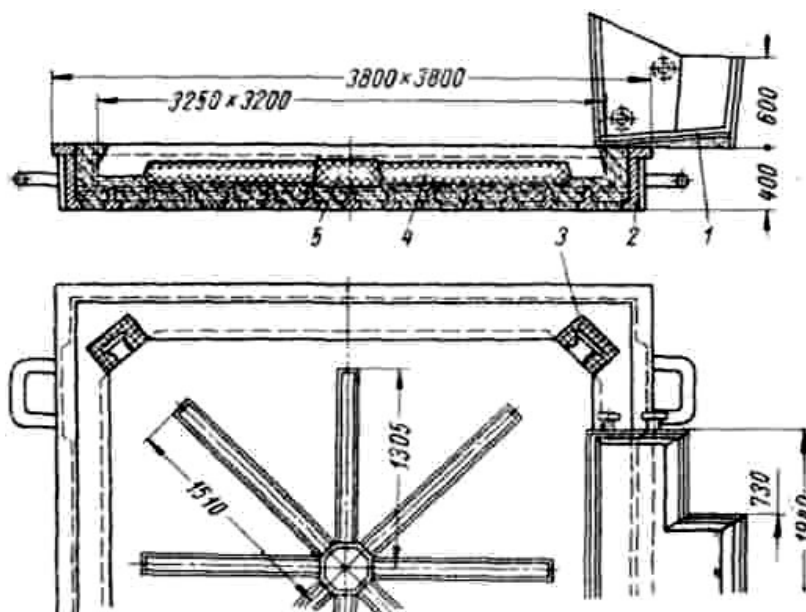


Рис. 18. Полупостоянная форма для отливки поддона

Форму изготавливают в стальной литой опоке 2 по чистой металлической модели со знаками для стержней канавок, цапф и звездочки. Применяемая смесь имеет следующий состав (в объемных процентах):

Кварцевый песок 2К02А	12
Шамотный порошок.....	66
Огнеупорная глина.....	22

Физико-механические свойства смеси

Предел прочности по сырому на сжатие в кг/см ²	0,8—1,0
Газопроницаемость.....	Не менее 140
Влажность в %.....	0—12

После набивки излишек смеси счищают заподлицо с опокой и для образования вентиляционных каналов делают наколы душником диаметром 10 мм (не менее 4 отверстий в каждой ячейке опоки). Затем опоку с подчеканенной моделью переворачивают, края формы смачивают, модель расталкивают и извлекают из формы. Горизонтальную поверхность формы обильно смачивают водой и прошпиливают гвоздями длиной 100—125 мм (шагом 50х50 мм). Головки гвоздей утопляют на глубину 5—7 мм от рабочей поверхности формы; все углубления после прошпиливания заделывают под линейку смесью приведенного выше состава, но с влажностью, увеличенной до 18—20 %.

Отделанную форму красят углеродистой краской с удельным весом 1,1—1,2, после чего форму провяливают на воздухе в течение 24 ч, а затем сушат газовой горелкой (8—10 ч). В высушенную форму по специальному шаблону устанавливают сухие стержни канавок 4, звездочек 5 и цапф 3, изготовленные из обычной стержневой смеси. Стержни крепятся в форме костылями

диаметром 10—12 мм и длиной 200 мм. Затем неостывшую после сушки форму вторично красят углеродистой краской с удельным весом 1,35—1,45.

Поддоны для сифонной разливки, используемые на комбинате, имеют конструктивную особенность, которая заключается в том, что все боковые стенки выполняются с откосами. В результате этого вес каждого поддона снижается на 300—500 кг. В связи с этим набивка боковых стенок формы производится обычной облицовочной смесью по рамке с отъемными частями.

После просушки второго слоя углеродистой краски (за счет аккумулированного формой тепла) форму по уровню устанавливают на площадку, в которой предварительно выполнена крестообразная канавка для выхода газов. Заливка производится при температуре 1170—1200 °С в открытую форму сверху через специальную литниковую чашу 1 с двумя литниковыми отверстиями. Начальная скорость заливки должна быть достаточно высокой для быстрого покрытия металлом большой поверхности формы, после чего она несколько уменьшается. Общая продолжительность заливки в зависимости от размеров поддона колеблется в пределах 50—120 сек. Залитые поддоны засыпают сухим песком слоем толщиной не менее 50 мм и выдерживают в форме в течение 24 ч, затем извлекают из формы и выдерживают дополнительно 24 ч в помещении на участках, защищенных от сквозняков.

Стойкость полупостоянной формы составляет 8—15 наливов, в зависимости от качества изготовления и ремонта после каждого съема. Ремонт заключается в том, что дефектные участки обильно смачивают раствором огнеупорной глины, после чего в них плотно втирают огнеупорную смесь. Отремонтированные участки выравнивают металлической линейкой, окрашивают углеродистой краской и просушивают газовыми горелками в течение 4 ч.

Недостатком данной технологии является применение громоздких опок и необходимость их кантовки, что исключается при отливке поддонов на строганную металлическую плиту (рис. 19). В этом случае подготовка формы производится следующим образом.

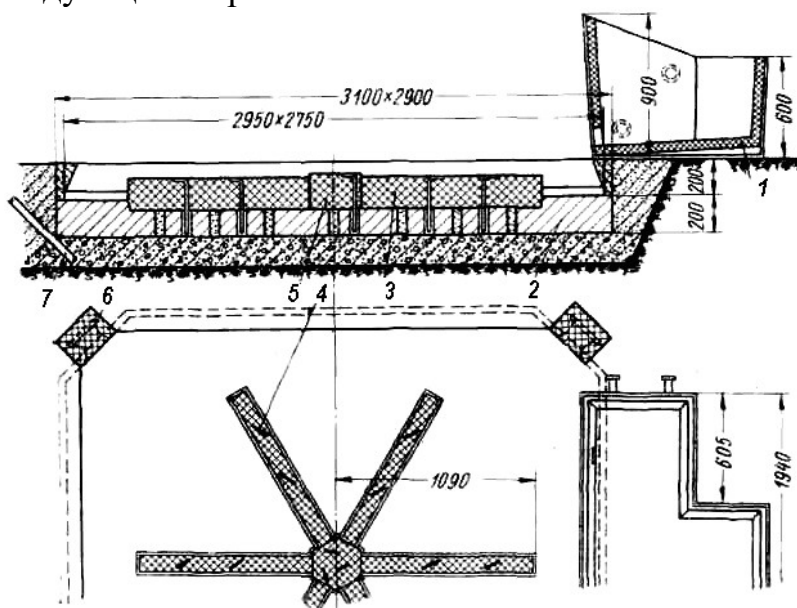


Рис. 19. Форма для отливки поддона на плите

В яму глубиной 300—400 мм устанавливают трубу 7 для вывода газов и засыпают бой кирпича; сверху набивают обычную формовочную смесь слоем толщиной 30—50 мм. В строго горизонтальном положении (по уровню) устанавливают металлическую плиту 2 толщиной 200 мм, габаритные размеры которой несколько больше, чем у поддона. На плиту накладывают деревянную рамку с отъемными частями для образования откосов и со знаками для цапф. Набивка бортов производится обычной формовочной смесью; после набивки извлекают рамку и модели откосов.

Высушенные стержни канавок 3 и стержень звездочки 5 устанавливают в углубления плиты, выполненные по размерам стержней. В этих углублениях (знаках) имеются отверстия диаметром 12 мм, предназначенные для вывода газов и для крепления стержней к плите металлическими костылями 4. Сухие стержни цапф 6 вставляют в знаки и во избежание смещения пригружают сверху грузом весом 10—12 кг. После этого поверхность плиты очищают, окрашивают углеродистой краской удельным весом 1,3—1,4 слоем толщиной 2,0—2,5 мм и просушивают газовой горелкой.

Чтобы предупредить образование отбела на рабочей поверхности поддонов, плиту перед заливкой подогревают горелками до температуры 60—80 °С. Кроме того, удержание кремния в чугуна для поддонов, отливаемых на плиту, повышают путем подшихтовки ферросилицием при плавке чугуна в вагранке (суммарное содержание углерода и кремния должно составлять не менее 5,6%). Температура заливки 1180—1220 °С. Заливка производится через чашу 1 с двумя литниковыми отверстиями; поверхность плиты должна покрываться металлом быстро, не более чем за 15—17 сек; скорость подъема металла в форме около 3 мм/сек.

Залитый поддон засыпают сверху сухим песком слоем толщиной 50 мм и выдерживают в форме 30 ч. После извлечения отливки форму охлаждают в течение 24 ч, и цикл повторяется.

Поверхность поддонов, отлитых на плиту, получается более ровной и чистой, в результате чего объем работ по обрубке снижается на 60—80 % по сравнению с поддонами, отлитыми в полупостоянные формы.

Стойкость поддонов практически одинакова и в зависимости от типа поддона составляет 110—150 плавов, что соответствует удельному расходу 2,2—3,4 кг/т.

3. Прибыльная надставка

Прибыльные надставки устанавливают на большинство изложниц, в которые разливается спокойная сталь. Они служат для локализации усадочной раковины в прибыльной части слитка. В конструкции некоторых изложниц для спокойной стали предусмотрено образование прибыльной части слитка непосредственно в изложнице, однако из-за трудности при подготовке таких изложниц под плавку они нашли крайне ограниченное применение.

Наибольшее распространение при разливке спокойной стали как сверху, так и сифоном получили открытые суживающиеся сверху прибыльные надставки с

напуском (горизонтальное сечение надставки подобно сечению изложницы и несколько меньше его). Надставки, как правило, снабжаются одной или двумя парами цапф, предназначенных для транспортировки, для захвата стрипперным краном, для кантовки. Цапфы применяют как литые, так и стальные кованные, заливаемые в корпус отливки. Большинство надставок имеет центрирующие приливы на нижнем торце, называемые фиксаторами или лапками, которые предназначены для более точной установки надставок на изложницы.

Для создания условий направленного затвердевания слитков прибыльные надставки изнутри футеруют шамотным кирпичом или путем набивки специальных огнеупорных масс, поэтому стенки надставок при эксплуатации нагреваются постепенно, не испытывая резких термических ударов, и по сравнению с изложницами имеют стойкость в 5—9 раз выше.

В наиболее жестких условиях работает нижнее горизонтальное ребро (полочка), образующее напуск (запечики). Этот элемент надставки соприкасается с металлом слитка и, не испытывая изолирующего влияния футеровки, подвергается, как и изложницы, многократным односторонним нагреваниям и резким последующим охлаждениям (при снятии надставок со слитков). В результате чередований более быстрых и сильных нагревов и охлаждений полочки по сравнению со стенками в надставке возникают знакопеременные температурные напряжения. Кроме того, прибыльные надставки при работе испытывают механические напряжения преимущественно ударного характера (при транспортировке, сборке и снятии с затвердевших слитков).

Таким образом, основными причинами выхода из строя прибыльных надставок являются разгар кромки полочки, образование трещин, обрыв цапф и подъемных приливов.

Для обеспечения плотного соединения надставки с изложницей во избежание прошивов сопрягаемые торцы после отливки подвергают механической обработке на строгальных, фрезерных или токарных станках (в зависимости от конструкции надставки и от расположения центрирующих приливов).

Материалом для отливки прибыльных надставок служит, как правило, чугун, применяемый для изложниц и других деталей сменного оборудования. В отдельных случаях применяют и стальные прибыльные надставки, преимущественно так называемые «плавающие» надставки, предназначенные для получения в одной и той же изложнице слитков различной высоты, для чего такая надставка вставляется на определенную глубину в рабочую полость изложницы.

Таким образом, прибыльные надставки являются типовыми отливками сменного оборудования сталеплавильных цехов и отличаются только конструктивными параметрами — размерами, формой горизонтального сечения, конусностью и т. п. Тем не менее, технологические процессы изготовления прибыльных надставок, применяемые на различных заводах, чрезвычайно разнообразны по трудоемкости и далеко не всегда обеспечивают требуемое качество отливок.

Ниже описан рациональный технологический процесс отливки прибыльных

надставок (рис. 20). Форма для изготовления надставки (в качестве примера приведена технология литья надставок с габаритными размерами 1135х1070х600 мм, весом 895 кг) состоит из поддона 1 и кокиля 2, скрепляемых перед заливкой коваными скобами 3. В специальные вертикальные пазы кокиля вставляют стержни 4, предназначенные для образования в отливке подъемных приливов. Внутренняя полость надставки образуется центральным стержнем-болваном, вставляемым в знаковую часть поддона. Стержень изготавливают из обычной стержневой смеси и натирают тальком, подсушке его не подвергают. В этом стержне выполняется литниковая система, состоящая из стояка диаметром 70. мм и четырех питателей сечением 20х15 мм; на стержень устанавливают литниковую чашу 5, выполненную в виде сухого стержня.

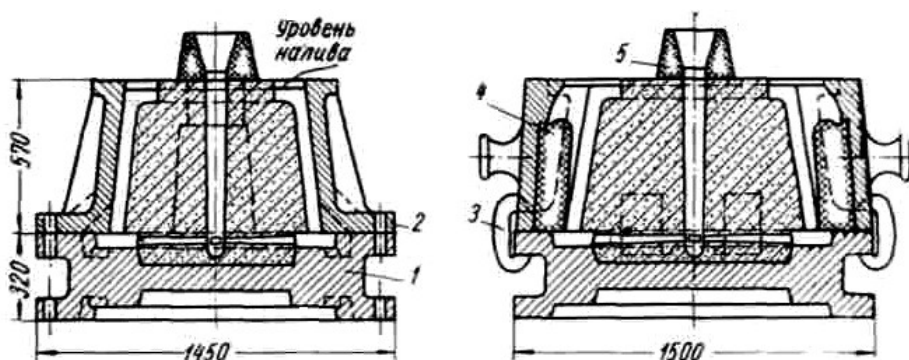


Рис. 20. Форма для отливки прибыльной надставки

Кокиль и поддон отливают из чугуна и подвергают механической обработке по сопрягающимся плоскостям. У поддона, рассчитанного на двустороннее использование, обрабатывают также и участки, которые служат для формирования опорной поверхности надставки, так как в данной технологии предусмотрена отливка надставок без последующей механической обработки.

Перед сборкой рабочие поверхности кокиля и поддона окрашивают углеродистой краской на жидком, стекле; сборка производится по штырям.

Металл заливается в форму, подогретую до 60—80 °С.

Данный способ изготовления прибыльных надставок имеет существенные преимущества по сравнению с отливкой их в разовые песчаные формы:

1) обеспечивается получение доброкачественной отливки без последующей механической обработки, в связи с чем высвобождается оборудование в механических цехах и транспорт;

2) снижается расход металла на отливку в результате ликвидации припусков на механическую обработку (такие припуски обычно равны 15—30 мм, т. е. в стружку уходит до 100—150 кг металла);

3) уменьшаются трудозатраты в результате ликвидации формовки кожуха;

4) увеличивается производительность в результате сокращения продолжительности выдержки залитых надставок в форме.

Практика показала, что отливаемые таким способом надставки любой конфигурации (квадратные, прямоугольные с отношением сторон до 2,6 и др.)

не имеют отбела, в эксплуатации не коробятся и стойкость их не ниже, чем у надставок, изготовленных в разовых формах. Удельный расход надставок не превышает 0,35—0,40 кг/т.

4. Центровая

При сифонной разливке в сталеплавильных цехах металлургических и машиностроительных заводов применяют центровые различных конструкций. Условно их можно разделить на две группы: разъемные и неразъемные.

Неразъемные центровые имеют недостатки, заключающиеся в сложности сборки (сборка, как правило, должна производиться непосредственно на поддоне), в неудобстве выбивки стержня из отливки (особенно при большой длине и малом диаметре сквозного отверстия). Кроме того, затрудняется очистка неразъемной центральной после разливки стали.

В связи с этим большинство сталеплавильных цехов применяет разъемные центровые — с горизонтальным и с вертикальным разъемом. Наибольшее распространение получили центровые с вертикальным разъемом, подготовка которых (сборка, сушка) производится на специальном участке, что особенно удобно в условиях поточного производства, так как заранее подготовленная центровая в любой момент может быть установлена на поддон.

Применяемые центровые с вертикальным разъемом обычно состоят или из двух симметричных половин или из корпуса с крышкой.

При эксплуатации центровые, как правило, не подвергаются воздействию расплавленного металла, высоких температур и работают в более благоприятных условиях по сравнению, например, с изложницами и поддонами, поэтому к материалу центральных не предъявляется особых требований. Главными причинами выхода центральных из строя являются сколы углов, кромок, цапф и подъемных приливов, отламывание участков с отверстиями для крепления частей центральных, а также заливание их жидкой сталью.

Отливки разъемных центральных должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) отлитые половины центральной (или корпус и крышка) должны обеспечивать плотное соединение по плоскости разъема без механической обработки;

- 2) поверхность внутренней полости, в которой набираются огнеупорные трубки, должна быть ровной и гладкой, без наплавов, наростов и других дефектов;

- 3) нижний торец должен быть прямолинейным и обеспечивать устойчивую и плотную установку центральной на поддоне.

Отливка центральных производится в разовые песчаные формы, комбинированные и в кокили, причем положение формы может быть горизонтальным, наклонным и вертикальным.

Ниже приводится описание технологии изготовления разъемной центральной, состоящей из корпуса весом 2880 кг и крышки весом 590 кг. Высота центральной (рис. 21) равна 2700 мм и превышает уровень налива металла в применяемых

изложницах от 170 до 885 мм.

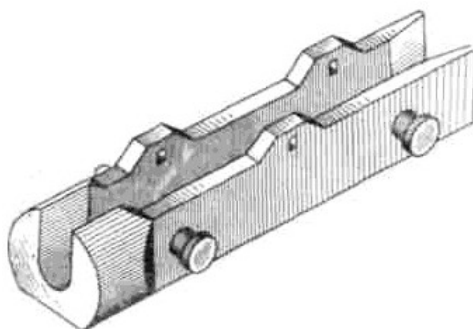


Рис .21. Центровая

Для удобства при транспортировке, сборке и очистке от скрапа центровая снабжена двумя парами литых цапф. Конструктивной особенностью корпуса центровой является плоская поверхность с противоположной от крышки стороны. Эта особенность позволяет применять технологию отливки корпуса центровой в горизонтальную открытую металлическую форму, показанную на рис. 22.

Подготовка формы к заливке чрезвычайно проста и требует минимальных трудозатрат.

Поддон 3 устанавливают по уровню, в паз поддона вставляют чугунный болван 5, образующий внутреннюю полость корпуса центровой. Затем с двух сторон болвана устанавливают боковины 8 таким образом, чтобы нижние выступы боковин вплотную примыкали к болвану. В боковинах имеются гнезда для установки стержней цапф 7 и прямоугольных стержней 4, образующих отверстия для соединения корпуса с крышкой при эксплуатации центровой. По центру гнезд (знаков) в боковинах выполнены сквозные отверстия диаметром 20 мм, предназначенные для вывода газов.

Опорная поверхность корпуса центровой (нижний торец) получается за счет клиновидной плиты 2, которую устанавливают в пазы на боковинах.

Для плотного соединения отдельных частей формы имеются две литые подковообразные стойки 1; между стойками и боковинами плотно вставляются четыре клина 6.

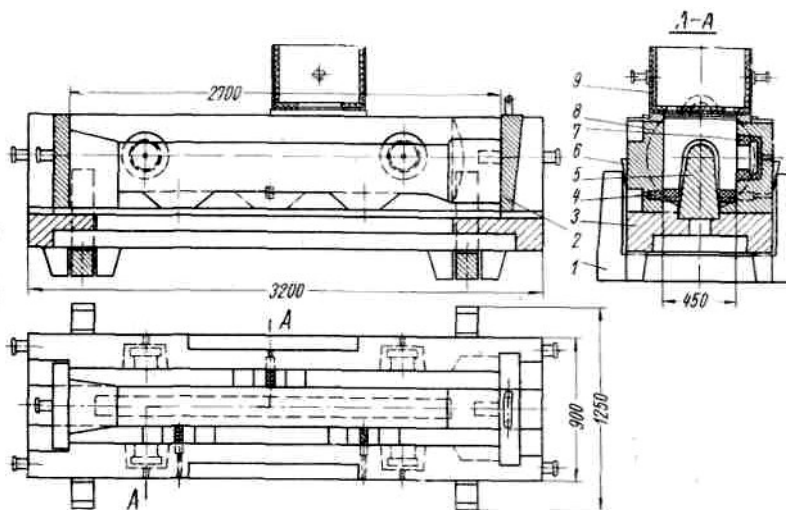


Рис. 22. Кокиль для отливки центровой

Рабочие поверхности кокиля окрашивают углеродистой краской, затем кокиль подогревают до температуры 60—80 °С, вторично наносят слой краски толщиной около 4 мм и кокиль газовыми горелками вновь нагревают до температуры 100—150 °С, после чего устанавливают литниковую чашу 9 с двумя литниковыми отверстиями размером 50х250 мм. Литниковые отверстия располагают так, чтобы струя металла при заливке падала между болваном и боковиной, что предохраняет болван от размыва.

Температура чугуна при заливке не менее 1170 °С, продолжительность заливки 55—60 сек.

Через 30 мин после окончания заливки клинья, скрепляющие боковины, выбивают; спустя еще 30 мин краном извлекают клиновидную плиту 2, боковины вместе с отливкой снимают с болвана, который остается на поддоне, затем отливку освобождают от боковин.

При последующих заливках кокиль не подогревают.

Крышку для центральной отливают в открытом неразъемном кокиле; продолжительность цикла изготовления крышки 20 мин.

Затраты на изготовление чугунного кокиля для отливки корпуса центральной незначительны, так как механической обработке детали кокиля не подвергаются. При разъемной конструкции отдельные детали кокиля подвергаются меньшим внутренним напряжениям от воздействия многократных нагреваний и охлаждений, в результате чего отливка легко извлекается, а кокиль имеет высокую стойкость.

В эксплуатации удельный расход корпусов центральных составляет 0,6 кг/т, крышек — 0,1 кг/т.

5. Изложницы

Изложницы являются самыми распространенными отливками из серого чугуна. Доля изложниц в общем производстве таких отливок составляет около 20 %.

Изложницы отливают во многих цехах машиностроительных заводов, а в литейных цехах металлургических предприятий производство изложниц составляет 65—75 % от общего выпуска литья. Более того, за последние годы введены в действие мощные специализированные цехи по производству изложниц (в Кривом Роге, Магнитогорске, Запорожье). Тем не менее интенсивный рост производства стали невозможен без соответствующего увеличения производства изложниц, так как непрерывный и полунепрерывный способы разливки стали в предстоящий период будут иметь ограниченное применение. В этих условиях особое значение приобретают вопросы повышения стойкости изложниц, успешное решение которых позволит с наименьшими затратами решить задачу обеспечения изложницами сталеплавильного производства страны.

Стойкость изложниц зависит от конструкции, технологии изготовления и условий эксплуатации. Конструкция изложницы определяется главным образом требованиями прокатного производства и в меньшей мере —

сталеплавильного; условия эксплуатации зависят исключительно от сталеплавильщиков. Применяемые технологические процессы изготовления изложниц, в значительной степени определяющие их стойкость, чрезвычайно разнообразны, поэтому и затраты на производство даже одинаковых изложниц в различных цехах колеблются в широких пределах.

В фасоннолитейном цехе НТМК отливают 19 типов изложниц для слитков кипящей и спокойной стали развесом 2,475—7,5 т: сквозные и глухodonные, блуминговые и листовые (с отношением сторон до 2,6), с прямыми и волнистыми гранями.

На рис. 23 приведен общий вид собранной формы для отливки одного из применяемых типов изложниц.

Основные параметры этой изложницы (тип 0-24) следующие: наружные размеры верхнего торца 1060х930 мм, внутренние — 815х685 мм; высота изложницы 1975 мм; конусность внутренних граней 1,3 %; толщина стенки 122,5 мм; черновой вес изложницы 5,78 т, чистовой — 5,75 т; отношение веса изложницы к весу слитка ($H : C$) составляет 0,785.

Форма состоит из литого чугунного поддона 1, к которому болтами крепится стальной обработанный каркас 5; двух стальных литых полуопок 6 с вертикальным разъемом, верхней опоки 8, протяжной плиты 3 и литниковой чаши 9. Отверстие в дне выполняется стержнями 7; для армирования верхнего торца изложницы устанавливается стальной бандаж 4. Крепление протяжной плиты к полуопокам, а также соединение полуопок между собой обеспечивается стальными коваными скобами 2.

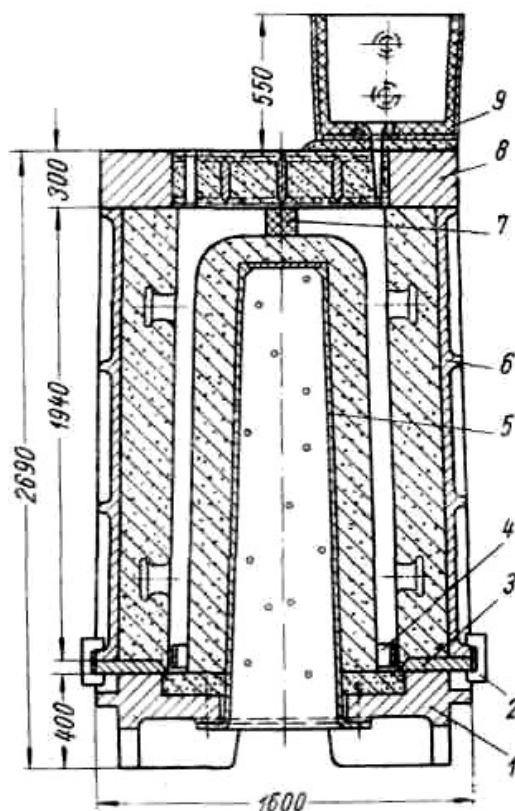


Рис. 23. Форма для отливки изложницы

Форму изготавливают по чистым моделям с уплотнением смеси пневматическими трамбовками воздуха 5,0—5,5 ат.

Особенности принятого технологического процесса заключаются в следующем.

Модели. При отливке небольших (преимущественно опытных) партий изложниц применяют деревянные модели с вертикальным разъемом. При серии более 200 изложниц формовка производится только по металлическим неразъемным моделям. Для изложниц со сложным профилем внутренней поверхности (волнистых с малыми радиусами сопряжений, многогранных) модели изготавливают составными.

Составные модели состоят из наружного сварного кожуха, к которому жестко крепится набор вертикальных пластин, образующих рабочую поверхность изложницы. Эти пластины отливают из алюминиевого сплава, чтобы облегчить их обработку в строгом соответствии с требуемым профилем. Для изложниц с более простым профилем рабочей поверхности модели отливают сплошными из такого же чугуна, как и изложницы; механической обработке такие модели не подвергают. Для моделей глуходонных изложниц дополнительно отливают из алюминиевого сплава отъемную кюмпельную часть. Получение в форме полостей для образования литых цапф достигается путем установки при формовке алюминиевых разъемных моделей, которые извлекают при отделке формы.

Смеси. Особенностью применяемых смесей является высокое содержание в них отработанной смеси (без регенерации), а также повышенное содержание древесных опилок в стержневой смеси.

Составы применяемых смесей (в объемных единицах) и их физико-механические свойства следующие:

Состав для форм	Состав для стержней
Песок марок 1КРК и 2КРК.....10	12
Отработанная смесь.....75	56
Древесные опилки.....—	22
Огнеупорная глина.....15	10
Газопроницаемость (не менее) 80	90
Предел прочности в кг/см ²0,5—0,7	0,3—0,5
Влажность в %.....8—10	10—12

Покраска форм и стержней. Формовочную краску для форм и стержней изложниц готовят из следующих материалов: талька керамического, ГОСТ 879, марки Б, 2-й сорт; графита серебристого, ГОСТ 5279; кокса молотого.

Тальк и серебристый графит поступают в готовом виде, кокс размалывают в бегунах и просеивают через сито с размерами ячеек 1х1 мм. Кокс подбирают крупными кусками серебристо-серого цвета.

Краска для форм изложниц состоит из одного талька, разведенного водой до удельного веса 1,20—1,30.

Стержень окрашивают двумя слоями. Для первого слоя используют такую же краску, как и для форм. Второй слой краски имеет следующий состав в объемных частях: 5 талька; 1 графита и 1 кокса.

Для второго слоя удельный вес краски должен быть в пределах 1,30—1,40. Расход краски зависит от размеров форм и стержней. В рассматриваемом случае расход краски составляет для первого слоя, наносимого на стержень, 20 л, для второго слоя и для формы по 10 л. Краска наносится пульверизатором.

Краска впитывается очень быстро, поэтому сразу же после нанесения второго слоя поверхность стержня заглаживается смоченной в воде кистью.

Тальковая краска обеспечивает получение чистой поверхности изложниц и по сравнению с углеродистой краской, которая применяется на многих заводах, имеет существенные преимущества: она дешевле углеродистой; при нанесении на вертикальные поверхности тальковая краска не стекает и поэтому ее расход на 25—30 % меньше; приготовление тальковой краски значительно проще, так как составляющие поступают в готовом виде.

В производстве крупных чугунных отливок тальковую краску можно с успехом применять не только для разовых, но и для полупостоянных и металлических форм.

Армирование. При сборке в формы изложниц устанавливаются сварные бандажи. Бандажи изготавливают из отходов листовой стали толщиной 20—25 мм; высота бандажей для различных изложниц составляет 120—160 мм.

Применение бандажей для изложниц, склонных к образованию продольных трещин при эксплуатации, повысило стойкость бьюминговых изложниц в среднем на 16 %, листовых на 11 %. Армированию не подвергаются только многогранные изложницы, выходящие из строя по сетке разгара, и листовые сквозные изложницы для кипящего металла, в которых образуются поперечные трещины.

Сушка форм. Формы и стержни для изложниц сушат в камерных сушилках по форсированному режиму: подъем температуры до 400—420 °С в течение 3 ч; выдержка при этой температуре в течение 4 ч, затем газ отключается, тележка с формами выдерживается в сушиле 0,5 ч и выкатывается. Общая продолжительность цикла сушки 7,5 ч.

Плавка. Для отливки изложниц чугун плавят в вагранках с трехрядными щелевыми фурмами. Завалка шихтовых материалов в вагранку осуществляется скиповыми подъемниками, загрузка скиповой тележки — электромагнитной шайбой мостового крана. Разделение завалки на металлические и топливные колоши не производится: каждая колоша составляется путем загрузки в скиповую тележку одновременно лома, чушкового чугуна, известняка и кокса.

Выплавляемый чугун для изложниц и других отливок сменного оборудования имеет следующий химический состав: 3,3—4,0 % углерода; 1,4—2,4 % кремния; до 1,1 % марганца; до 0,1 % хрома; до 0,3 % фосфора; до 0,1 % серы.

Заливка. Разливочные ковши не снабжаются поворотными механизмами. Разливка производится через носок ковша; температура заливки изложниц 1160—1180 °С. При такой низкой температуре на носке ковша образуются настывшие металла, поэтому ковши изготавливают с двумя носками, при этом

длительность использования ковшей удваивается. При заливке ковш поворачивается малым крюком мостового крана: на этот крюк надевается петля металлического троса, второй конец которого вводится в зацепление со скобой, вмонтированной около днища ковша.

Заливка изложниц производится сверху. Для этой цели используют специальные верхние опоки (перекрыши), которые изготовляют с учетом двустороннего использования. Верхние опоки 3 (рис. 24) имеют высоту 250—300 мм и массивные боковые стенки, поэтому нет необходимости пригружать формы перед заливкой.

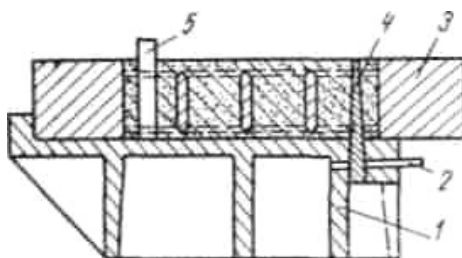


Рис. 24. Плита для формовки литниковой системы в верхней опоке

Центральную часть верхней, опоки, образующей торец изложниц, набивают высокопрочной, смесью, состоящей из 66 % шамотного порошка, 12 % кварцевого песка и 22 % огнеупорной глины. Одну из ячеек, предназначенную для литникового щелевого питателя сечением 160х20 мм, перед каждой заливкой набивают обычной разовой формовочной смесью. Набивка производится на строганной плите 1 с ограничительным выступом, который обеспечивает правильность расположения опоки относительно алюминиевой модели щелевого питателя 4. Выпор формуется на этой же плите по деревянной модели 5. Модель питателя фиксируется в плите шпилькой 2. Перед заливкой перекрыши окрашивают тальковой краской.

Переход на заливку изложниц сверху позволил полностью ликвидировать брак по неспаям и газовым раковинам в верхней части изложниц. Расход чугуна на литниковую систему для одной изложницы снизился с 80—85 кг (при сифонной разливке) до 7—10 кг, при этом качество внутренней поверхности, структура чугуна и стойкость изложниц не ухудшились. Кроме того, ликвидация сифонной литниковой системы позволила существенно уменьшить габаритные размеры опок в свету, в результате чего расход формовочной смеси на каждую изложницу снизился на 35 %.

Охлаждение и выбивка. С залитых изложниц через час снимают верхние опоки, и оголенный торец засыпают сухим песком слоем толщиной 50 мм. Через 2,5—3,5 ч после заливки (в зависимости от веса изложницы) на стационарной гидравлической установке изложницу снимают с каркаса и протяжной плиты. Продолжительность выдержки в опоке 12 ч.

6. Настильные плиты

Настильные плиты с рифленой поверхностью применяют для настиления

полов производственных помещений. В зависимости от назначения и условий эксплуатации настильные плиты различаются по размерам, конструкции и рисунку на рабочей поверхности; материалом для плит служат сталь и чугун. Несмотря на то, что стальные плиты обладают более высокой прочностью, наибольшее распространение получили чугунные плиты, так как чугун значительно дешевле и обеспечивает более четкий рисунок на поверхности.

Ниже приводится описание технологии отливки чугунных настильных плит толщиной 60 мм для рабочих площадок мартеновских цехов. Конструктивной особенностью этих плит является наличие полости с нижней (нерабочей) стороны, предназначенной для облегчения отливки при сохранении ее прочности; при глубине полости 25 мм вес плиты снижается на 30—35 %. Особого интереса сама деталь не представляет, но технология оригинальна тем, что отливка производится в полуоткрытую металлическую форму. Форма, показанная на рис. 25, состоит из двух частей: кокиля 1, в котором формируются рабочая и боковые поверхности отливки, и верхней плиты 2, предназначенной для образования полости.

Контур этой плиты выполняется в соответствии с размерами полости, боковые поверхности снабжены повышенной конусностью, что бы облегчить извлечение отливок после затвердевания. Для установки на кокиле плита имеет три боковых прилива соответствующей высоты; вес плиты регулируется толщиной и должен без специального груза обеспечивать ее устойчивость на кокиле при заливке. Кокиль и плиту отливают из чугуна, применяемого для отливки изложниц, и последующей механической обработке не подвергают.

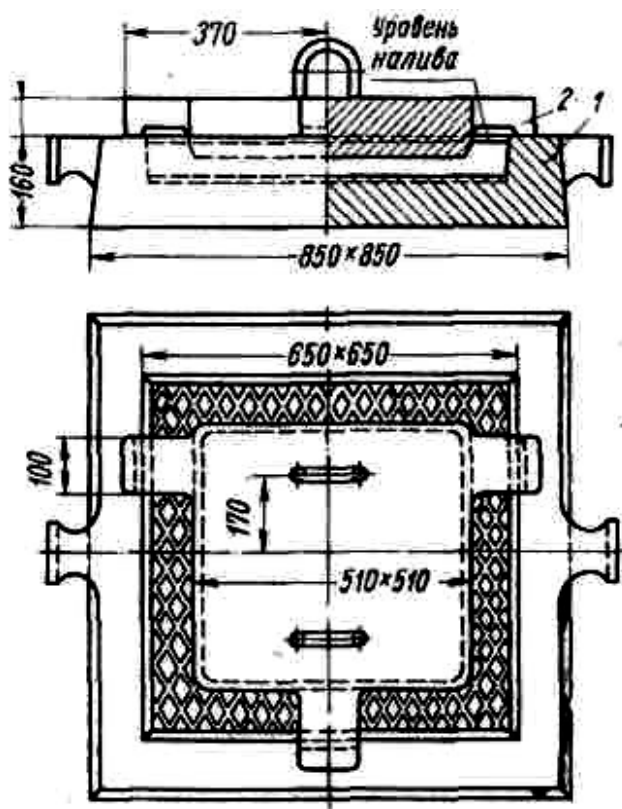


Рис. 25. Форма для отливки настильных плит

Приведенная технология, в которой предусмотрено применение полукрытых форм, может быть использована и при отливке ряда других деталей с различными полостями.

7. Копровые бабы

Крупные металлургические заводы оснащены мощными кранами со специальными магнитными шайбами для разделки тяжеловесного металлического лома. В качестве сменных деталей для таких кранов применяют шаровые бабы весом, как правило, 6 и 10 т, диаметром соответственно 1100 и 1350 мм.

Условия работы копровых баб, сбрасываемых с высоты 20—25 м, характеризуются исключительно высокими динамическими нагрузками, достигающими 250000 кгм. Основным требованием, предъявляемым к копровым бабам, является стойкость их в эксплуатации, от которой в значительной степени зависит стоимость разделки лома. Предельно допустимым расходом шаровых баб на 1 т разделанного лома считается 0,6 кг.

Вопросы, связанные с выбором материала и оптимальной технологии отливки шаровых баб, являются дискуссионными на протяжении многих лет. Это объясняется тем, что требуемый материал должен одновременно иметь повышенную прочность (предел прочности при растяжении более 70 кг/мм^2) и высокую ударную вязкость (не менее 4 кгм/см^2). Обычно углеродистые стали с высоким пределом прочности при растяжении обладают пониженными пластическими свойствами, имеют большую объемную усадку, которая практически исключает возможность получения шаровых баб без усадочных раковин и рыхлостей, несмотря на применение массивных прибылей и сложных внутренних холодильников.

Многолетней практикой установлено, что наиболее прогрессивной технологией является отливка копровых баб из кипящей стали МСт.1—МСт.3 (ГОСТ 380) в металлическую форму без прибылей и внутренних холодильников (рис. 26).

Кокиль для отливки шаровых баб состоит из нижней / и верхней 4 частей, отливаемых из серого чугуна. Правильность соединения этих частей кокиля обеспечивается кольцевой проточкой. Литниковый ход и выпор выполняются в формовочном составе в верхней части кокиля. Внутренняя поверхность кокиля окрашивается огнеупорной массой. Для окрашивания применяется воздушный пульверизатор. Перед окраской кокиль подогревается газовыми горелками до температуры 100—120 °С. Обе половины кокиля скрепляют скобами 3 за соответствующие приливы. На собранный кокиль устанавливают шамотную литниковую воронку 5. При производстве крановых операций пользуются цапфами 2, залитыми в верхнюю и нижнюю половины кокиля.

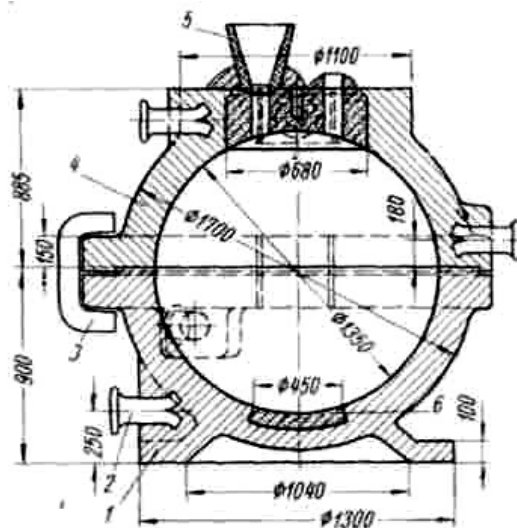


Рис. 26. Кокиль для отливки копровой бабы

Для предупреждения размыва кокиля в месте падения струи металла укладывают шамотную футеровку 6 толщиной 60 мм и отходы мягкого листового металла в количестве 40—50 кг. Заливка производится из стопорного ковша. Во избежание образования горячих трещин весовая скорость заливки должна быть 0,8—1,0 т/мин. По окончании заливки металла литниковую воронку и выпор плотно забивают сырой формовочной смесью с чугунной стружкой. Отливку выдерживают в форме 48 ч, термической обработке ее не подвергают.

Наблюдениями установлено, что в период эксплуатации копровые бабы, отлитые из кипящей стали, не ломаются по диаметру, в отличие от отлитых из спокойных сталей, а сминаются или в редких случаях выкрашиваются небольшими кусками. Это объясняется тем, что напряжения от ударной нагрузки в бабах из спокойных сталей в основном передаются к геометрическому центру, что вызывает преждевременное раскалывание отливок, усугубляемое наличием в центре дефектов усадочного происхождения. В отливках же из кипящих сталей благодаря равномерному распределению усадочной пористости напряжения от удара гасятся в поверхностных слоях отливки в результате ее смятия.

При данной технологии достигаются следующие технико-экономические показатели:

- 1) трудозатраты на 1 т отливок составляют 1,26 нормо-час;
- 2) выход годного повышается до 98,5%;
- 3) полностью исключаются расходы на термообработку отливок;
- 4) расход кокилей составляет 6,6 кг на 1 т отливок.

8. Мульды

Мульды завалочных машин мартеновских и крупных электропечей относятся к числу наиболее распространенных в металлургии отливок. Емкость мульды в зависимости от садки печи и загрузочного оборудования

колеблется в пределах 0,3—3 м³; толщина стенки составляет 20—25 мм.

Эксплуатация мульд сопровождается многократным чередованием резких односторонних нагревов и последующих охлаждений, вызывающих коробление и образование в стенках трещин, развивающихся постепенно до браковочных пределов; часть мульд выходит из строя вследствие механического разрушения. Расход завалочных мульд составляет обычно 1,0—1,5 кг на 1 т выплавленной стали.

Техническими условиями на отлитые мульды предусмотрено исправление дефектов в виде трещин и раковин; ограничены разностенность, отклонения от веса и размеров, указанных на чертеже (особенно линейных размеров замка, которые без последующей механической обработки должны обеспечивать надежное соединение мульды с головкой литого хобота завалочной машины). Кроме того, выпоры, литники и заливы должны быть обрублены, поверхности отливки должны быть очищены от пригара: наружная — для обеспечения плотной установки на тележке, внутренняя — для предотвращения зависания шихты при опрокидывании мульды в печи.

Отливка мульд производится как в разовые песчаные формы, так и в кокиль с песчаным сырым болваном. Второй способ наиболее рациональный, однако практика показала, что он не вызывает затруднений лишь при отливке мульд относительно небольшой емкости (до 1,0—1,1 м³). Малейшая же недоработка технологии кокильной отливки мульд емкостью более 1,1—1,2 м³ приводит к массовому появлению сквозных горячих трещин в них. Техническими условиями хотя и разрешается заварка сквозных трещин (с предварительной вырубкой дефектных участков), но на это требуются большие затраты; кроме того, стойкость заваренных мульд в эксплуатации резко снижается, поэтому мульды больших размеров отливают преимущественно в разовые формы.

Для примера можно привести опыт фасоннолитейного цеха, в котором одновременно отливали в чугунные кокили по совершенно одинаковой технологии мульды с различной емкостью: 1 м³ (габаритными размерами 910х2410х595 мм, вес 1400 кг), 1,3 м³ (1024х2595х735 мм, вес 1780 кг) и 1,5 м³ (1020х2600х 800 мм, вес 2000 кг). При этом образование горячих трещин на мульдах емкостью 1 м³ наблюдалось исключительно редко, в то время как после отливки мульд емкостью 1,3 и 1,5 м³ количество направляемых на заварку отливок соответственно достигало 40—50 и 60—80 %. Характерно также и увеличение количества и размеров трещин: если на мульдах емкостью 1 м³ появлялась преимущественно одна трещина в виде небольшого надрыва, то на мульдах емкостью 1,3 и 1,5 м³ было до двух, а иногда до трех сквозных трещин шириной около 5—10 мм, распространяющихся от кромки до донной части.

В связи с этим технология кокильной отливки мульд была усовершенствована: собранная форма показана на рис. 27. Технологический процесс состоит из следующих основных операций.

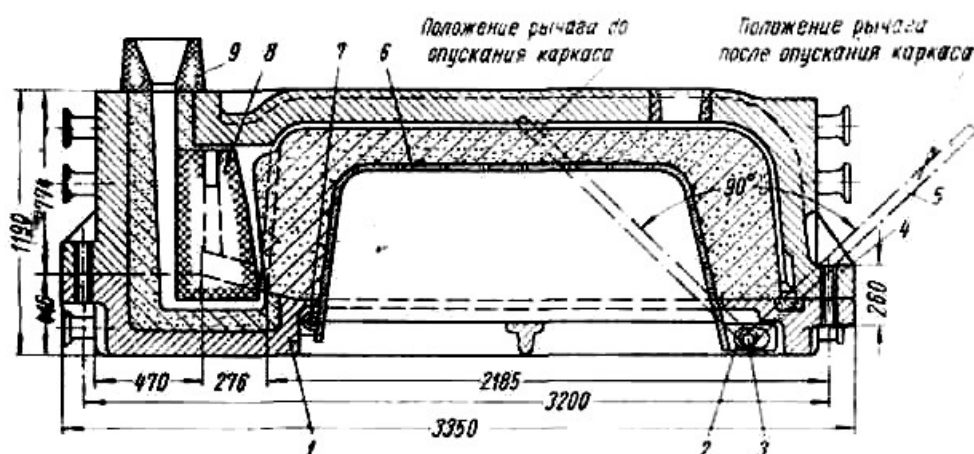


Рис. 27. Форма для отливки мульды

На стальной поддон *1*, в окно которого вмонтирован литой подвижной каркас *6*, устанавливают по штырям металлический стержневой ящик для набивки болвана. Ящик изготовляют раздвижным по продольной оси, чтобы обеспечить одинаковую толщину стенок мульды при использовании различных кокилей, так как даже при отливке кокилей по одной и той же модели их поперечные размеры отличаются на 5—10 мм. Через окно в верхней части ящика производится набивка болвана; плотность набивки должна быть минимальной, в пределах 50—70 единиц по-твердомеру, что достигается увеличенной конусностью каркаса (при малой конусности стержень может развалиться при отливке).

Торцовая поверхность болвана со стороны замковой части, имеющая обратную конусность, формируется по отдельному вкладышу, шарнирно соединенному с ящиком. Формовочная смесь для болвана с целью повышения его податливости содержит 15—20 % древесных опилок; влажность смеси не превышает 6 %. Заформованный болван должен быть использован не позднее, чем через 3—4 ч, так как из-за высыхания его резко уменьшается податливость. Стержень *8*, предназначенный для образования замка мульды, изготовляют по деревянному разборному ящику, окрашивают маршалитовой краской при помощи пульверизатора и просушивают при температуре 300 °С в течение 6 ч.

Подготовка кокиля *4* заключается в очистке внутренней поверхности, забивке формовочной смесью отверстия для выпора (по деревянной конической модели) и окраске пульверизатором маршалитовой краской при температуре кокиля 60—80 °С. Затем кокиль подогревают до 150—180 °С, кантуют и устанавливают по направляющим штырям на поддон с болваном и замковым стержнем. Для обеспечения плотной установки поддон и кокиль по плоскости разъема подвергают механической обработке.

Кокили первоначально отливали из чугуна, однако на практике после 40—50 съёмов у нижней кромки стенок появлялись небольшие трещины, количество и размеры которых увеличивались, и кокиль, выдержав около 100 заливок, снимали с производства. Установлено также, что с появлением на кокилях

трещин резко увеличивается пораженность отлитых в них мульд горячими трещинами. Несмотря на то, что трещины в кокиле перед каждой заливкой заделывали специальной обмазкой, трещины на мульде, как правило, по величине и форме соответствовали трещинам на кокиле. В связи с этим чугунные кокили были заменены стальными со стенками толщиной 100 мм. Для уменьшения коробления кокиль снабжен ребрами по наружной поверхности; стойкость такого кокиля превышает 500 съёмов.

После установки кокиля на поддоне в окно кокиля вставляют модель стояка и производится забивка полости между кокилем и замковым стержнем; питатель выполняется в замковом стержне. На стояк устанавливают литниковую чашу 9, выполненную в виде сухого стержня.

Форму заливают сталью с содержанием 0,15—0,25% углерода при температуре 1430—1450 °С. Диаметр стаканчика разливочного ковша 50 мм; продолжительность заливки устанавливается из расчета скорости подъема металла в форме около 15 мм/сек. Сразу же после заливки удаляют литниковую воронку, выпор и заливки, препятствующие усадке.

Через 10 мин после окончания заливки одна сторона каркаса опускается путем поворота на 90° рычага 5, соединенного с валом 3 и эксцентриковой втулкой 2; вторая сторона каркаса шарнирно соединена с поддоном двумя болтами 7. В результате опускания жесткого каркаса податливость болвана резко возрастает, и горячие трещины в отливке не образуются. Период от конца разливки до момента опускания каркаса в каждом конкретном случае должен быть установлен опытным путем, так как он определяется многими факторами: температурой заливаемого металла, весом и толщиной стенки мульды и др.

Спустя 20 мин после окончания заливки, кокиль снимают с залитой мульды; поддон поворачивают и освобождают от отливки. Термической обработке мульды не подвергают.

9. Хобот завалочной машины

Хобот завалочной машины является сменной деталью, отливаемой из обычной углеродистой стали 30Л—40Л.

Конструктивно хобот выполняется в виде конусной трубы длиной 3—5 м со стенками толщиной 80—90 мм; на одном из концов трубы имеется так называемая головка, которая при эксплуатации плотно входит в замковую часть мульды.

Основной причиной выхода хобота из строя являются трещины около головки, возникающие в результате чередования многократных нагреваний и охлаждений во время загрузки шихты. Постепенное развитие этих трещин приводит к уменьшению прочности рабочего сечения хобота, работающего как консоль с приложенной на конце нагрузкой в несколько тонн.

По технологии отливки хобота (рис. 28) формы изготавливают в парных сварных опоках 5. Формовка производится на чугунной строганной подмодельной плите по одной половине металлической модели, к которой приставляется половина алюминиевой модели для получения полости головки

хобота. Для правильной сборки полуформ по продольной оси предусмотрена штыревая система.

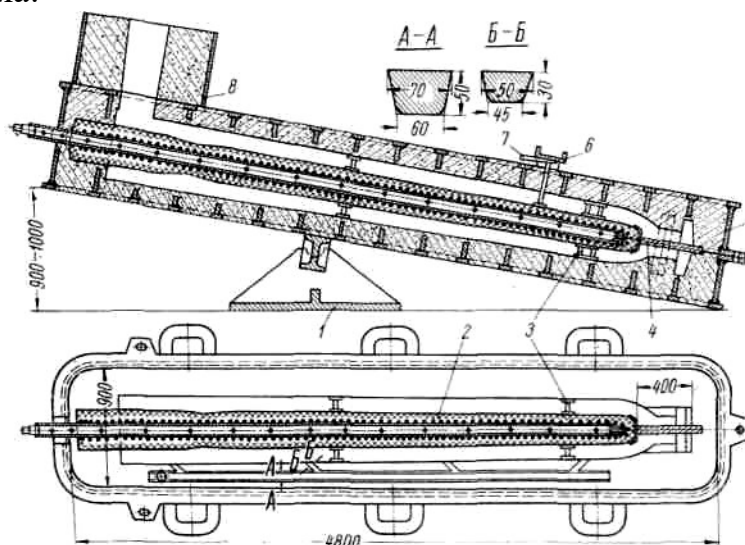


Рис. 28. Форма для отливки хобота завалочной машины

Стержень 2 для образования отверстия внутри хобота изготавливают на специальном каркасе с наточкой по шаблону в горизонтальном положении. В качестве каркаса используется труба наружным диаметром 114 мм со стенками толщиной 10 мм; в трубе просверлены в шахматном порядке отверстия для выхода газов из стержня при заливке форм. На трубу по всей длине последовательно наматывают плотный слой пеньковой веревки, в утолщенном месте со стороны знака наматывают два слоя веревки. Затем на веревку наносят первый слой тестообразной стержневой смеси, состоящей из 20 % кварцевого песка, 30 % древесных опилок и 50 % огнеупорной глины (влажность 12—15 %). После нанесения первого слоя на стержне делают вентиляционные наколы для выхода паров при сушке и стержень просушивают. После просушки на стержень наносят второй слой смеси, состоящей из кварцевого песка, отработанной смеси, шамотного порошка, древесных опилок и огнеупорной глины в равных частях (влажность около 15 %); производится наточка по шаблону до необходимых диаметров. Затем проводится вторая просушка и в горячем состоянии стержень окрашивают маршалитовой краской.

При сборке нижнюю полуформу устанавливают в горизонтальном положении на специальную поворотную траверсу 1 и подставку. В знак полуформы ставят стержень, который раскрепляется жеребейками 3. В торце стержня для предупреждения образования усадочных дефектов около головки хобота устанавливают внутренний холодильник 4 диаметром 40 мм. Затем по штырям накрывают верхнюю полуформу, и стержень дополнительно фиксируют при помощи специального клина 7, упирающегося в приваренный кронштейн 6. Литниковая система выполняется вдоль формы хобота. Прибыль и литниковая чаша выполняются в опоке 8, устанавливаемой со стороны знаковой части.

Собранную и скрепленную форму приподнимают краном со стороны

подставки, подставку убирают и форму устанавливают в наклонном положении под углом 10—15° к горизонту.

Заливка в наклонном положении значительно упрощает сборку формы и полностью исключает прошибы при заливке.

10. Вал-гайка для стрипперного крана

К наиболее интересным и сложным в отливке сменным деталям металлургического оборудования относятся валы-гайки для стрипперных кранов, применяемых на крупных металлургических заводах для стрипперования слитков из изложниц. Большинство металлургических заводов из-за трудностей, связанных с изготовлением указанной отливки, вынуждено заказывать их на заводах тяжелого машиностроения.

Вал-гайка представляет собой массивный червячный винт, работающий в условиях исключительно высоких нагрузок. Отливка вал-гайки имеет вид полого цилиндра длиной 2650 мм (с прибылью 3150 мм) с внутренним диаметром 170 мм и наружным 360 мм; черновой вес отливки 3000 кг. По внешнему и внутреннему диаметрам вала нарезается глубокая винтовая нарезка, поэтому к отливке предъявляются повышенные требования: она должна быть плотной, без пористости и раковин; механические свойства материала отливки, в качестве которого обычно используется латунь ЛАЖМц66-6-3-2, должны отвечать требованиям ГОСТ.

Латунь ЛАЖМц66-6-3-2 (ГОСТ 1019) используют для отливки вал-гаек вследствие того, что это обеспечивает необходимые эксплуатационные свойства в сочетании с относительно простой технологией литья.

Однако в условиях литейных цехов металлургических заводов, где крупные агрегаты для плавки цветных сплавов, как правило, отсутствуют, выплавка сплава осуществляется в сталеплавильных электрических дуговых печах, что имеет существенные недостатки. В процессе плавки латуни и других сплавов, содержащих цинк, в электропечи происходит интенсивное окисление цинка и переход его в парообразное состояние, что затрудняет получение заданного состава сплава и приводит к загрязнению атмосферы цеха. В связи с этим была проверена возможность замены латуни ЛАЖМц66-6-3-2 бронзой БрАЖН10-4-4Л (ГОСТ 493—54), химический состав которой следующий: основные компоненты: 9,5—11 % алюминия, 3,5—5,5 % железа, 3,5—5,5 % никеля, остальное медь; содержание примесей не более: 0,05 % мышьяка; 0,05 % сурьмы; 0,2 % олова; 0,1 % фосфора, 0,5 % цинка и 0,5 % марганца.

Результаты опытной проверки подтвердили возможность использования указанной бронзы для отливки валов-гаек. По механическим и антикоррозионным показателям эта бронза не уступает латуни ЛАЖМц66-6-3-2, а по литейным свойствам превосходит ее. В частности, жидкотекучесть бронзы БрАЖН10-4-4Л почти в 2 раза превышает жидкотекучесть латуни; кроме того, она обладает гораздо меньшей склонностью к поглощению газов в жидком состоянии и повышенной прочностью при затвердевании, а малый интервал кристаллизации обуславливает получение в отливках концентрированных

усадочных раковин, выводимых в прибыль без рассеянной усадочной пористости.

Плавка этой бронзы в дуговой электросталеплавильной печи не вызывает каких-либо затруднений. Однако при литье крупных толстостенных деталей необходимо учитывать некоторые особенности бронзы БрАЖН10-4-4Л, главными из которых являются трудность локализации усадочной раковины в прибыльной части относительно высокой отливки и повышенная окисляемость расплава из-за высокого содержания в бронзе алюминия.

При температуре заливки 1100—1140 °С и при содержании около 10 % алюминия окисляемость расплава настолько велика, что его поверхность мгновенно покрывается прочной окисной пленкой, состоящей преимущественно из окиси алюминия Al_2O_3 . Эти окисные пленки очень тугоплавки (2050 °С), они не растворяются в сплаве и при литье образуют складки. Складки могут разрываться и, попадая в отливку, остаются в виде отдельных включений, нитей, плен, нарушая сплошность сплава, резко понижая его механические свойства и являясь местами скопления газов и образования газовых пор.

Предупреждение образования окисных пленок Al_2O_3 и усадочных раковин во внутренних зонах отливок достигается применением стопорных ковшей, сифонной разливки и созданием условий для ускоренной и направленной кристаллизации сплава в форме, что обеспечивается применением специальных холодильников или кокилей.

Ниже приведено краткое описание двух вариантов технологии литья вала-гайки, проверенных практикой, применение которых обеспечивает высокое качество отливок. Первый вариант — литье в разовую форму с использованием холодильников, второй — литье в металлическую форму. Ранее приняли отливку по первому способу, а в связи с возросшей потребностью в валах-гайках был осуществлен переход на отливку в кокиль.

Литье в разовую форму. Для изготовления формы (рис. 29) применяют круглые опоки. На нижнюю часть формы 1 в процессе формовки последовательно устанавливают три опоки 2 высотой по 1060 мм каждая и верхняя опока 5 высотой 250 мм. Форма имеет два горизонтальных разъема с протяжными плитами 3. Благодаря этим разъемам можно производить отделку формы.

Для создания условий, необходимых для направленной кристаллизации, форму облицовывают специальными чугунными кольцевыми кирпичами 4. Эти кирпичи укладывают вокруг деревянной разъемной модели на специальной тестообразной обмазке. Состав обмазки: 40 % огнеупорной глины; 30 % маршалита; 2 % песка, увлажненного сульфитным щелоком удельным весом 1,3 с добавкой 13—30 % воды. Обмазку готовят на бегунах. Она обладает эластичностью, прочностью и при сушке не дает трещин. Эта обмазка используется также для заделки знака при установке стержня 9.

Стержень изготавливается путем горизонтальной наточки по шаблону. В качестве каркаса используют стальную трубу 8 диаметром 75 мм с

Стояк литниковой системы 11 выполняется шамотными трубками с внутренним диаметром 90 мм, нижний питатель имеет такое же сечение, верхний питатель, подводимый под прибыль, имеет диаметр 60 мм. Внутреннюю поверхность формы, образованную чугунами кольцевыми кирпичами, тщательно покрывают замазкой (состав которой приводится выше) слоем толщиной не более 5 мм. После нанесения замазки форму окрашивают углеродистой краской следующего состава: 37 % молотого древесного угля; 61 % молотого кокса; 2 % огнеупорной глины. Удельный вес краски, разведенной на воде, 1,3—1,4. Форму в прибыльной части отливки облицовывают обычной песчано-глинистой смесью.

255

системы устанавливают стандартную литниковую воронку 10.

Литье в металлическую форму. При литье валов-гаек в металлическую форму (рис. 30) центральный стержень 3 с каркасом 2 изготавливают так же, как и в предыдущем случае; не изменились и размеры элементов литниковой системы, выполняемой стандартными шамотными трубками 6.

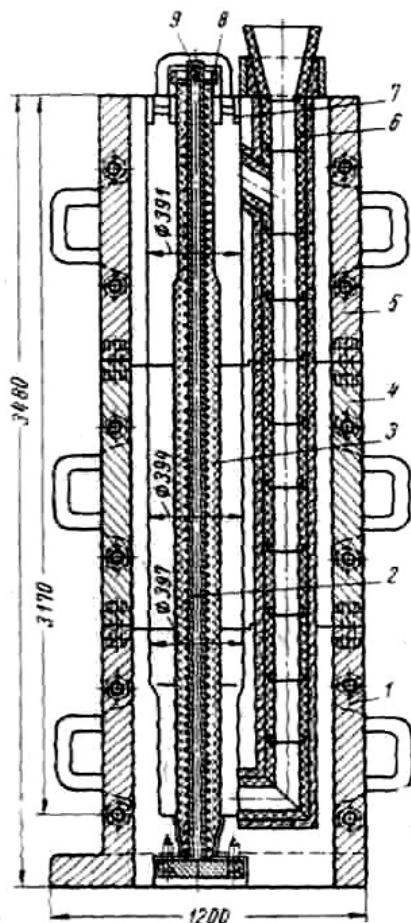


Рис. 30. Металлическая форма для отливки вала-гайки

Особенность конструкции кокиля заключается в том, что для предупреждения коробления предусмотрено изготовление его из трех частей: нижней 1, средней 4 и верхней 5. Каждая часть состоит из двух чугуновых половин. Для возможности свободной усадки отливки внутренний диаметр средней части кокиля на 3 мм больше диаметра верхней части, а диаметр внутренней полости нижней части увеличен еще на 3 мм.

Внутреннюю поверхность кокиля окрашивают углеродистой краской приведенного выше состава. Окрашенные половинки кокиля собирают по направляющему замку и скрепляют по вертикальному разъему двенадцатью болтами. Собранный кокиль после шестичасовой выдержки в сушиле при температуре 300 °С помещают в кессон. В нижний знак устанавливают высушенный стержень, который вверху раскрепляется жеребейками 7, а затем фиксируется швеллером 8 с клиньями 9.

Выплавка бронзы производится в электросталеплавильных печах ДСТ-3 и ДС-5. После очередной плавки стали печь тщательно очищают и включают ток. В

разогретую печь при выключенном токе загружают заранее подготовленную шихту, поверх которой засыпают слой сухого древесного угля для предохранения от сильного окисления. Затем ток включают вновь на 10—12 мин и после выдержки в печи 15 мин сплав сливают в разогретый ковш со стопором.

Продолжительность заливки формы 50—60 сек. Выдержка отливки в разовой форме 24 ч, в металлической 12 ч.

При стопорной разливке алюминиевой бронзы через магнетитовый стаканчик диаметром 50 мм получаются хорошие результаты: разливка производится равномерно, стопор работает безотказно; окисляемость алюминия при таком способе разливки минимальна.

Применение описанных технологических процессов обеспечивает получение плотных здоровых отливок; литейные дефекты полностью отсутствуют, химический состав, и механические свойства сплава отвечают требованиям действующих стандартов.

ОТЛИВКИ ДЛЯ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. Чугунные валки для прокатки бандажей и вагонных колес

Чугунные валки являются сменными деталями прокатных станов и используются для предварительной и чистовой прокатки стальных заготовок на бандаж и вагонные колеса.

По условиям эксплуатации к валкам предъявляются требования, основные из которых следующие:

- 1) высокие механические свойства материала валков (для предупреждения поломок);
- 2) повышенная чистота и достаточная твердость рабочей поверхности (во избежание деформации от давления при прокатке);
- 3) повышенная сопротивляемость износу рабочей поверхности (для предупреждения искажения профиля проката).

В рассматриваемом случае для отливки валков применяют чугун следующего химического состава: 3,2—3,7 % углерода; 0,6—1,2 % кремния; 0,8—1,0 % марганца; до 0,5 % хрома и никеля; до 0,4 % фосфора и до 0,1 % серы; твердость рабочей поверхности должна быть в пределах *HB* 197—227.

На рис. 31 показана металлическая форма для отливки валка чистового стана из ваграночного чугуна.

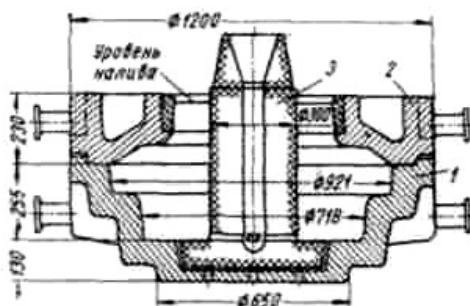


Рис. 31. Кокиль для отливки валков

Кокиль состоит из двух чугунных частей: нижней 1, имеющей в дне знак для стержня с отверстиями для выхода газов, и верхней 2, имеющей в центре кольцевую выточку для устройства прибылей. Утепленная прибыль получается набивкой формовочной смесью на специальной подмодельной плите верхней части. Стержень 3 набивают отдельно обычным способом. В стержне выполняется литниковая система из шамотных трубок.

Предварительно подогретый кокиль красят вместе со стержнем углеродистой краской и подают в сушило, где его сушат при температуре 300 °С в течение 8 ч. Высушенную форму устанавливают на ровный участок и собирают. Для правильной сборки обеих частей кокиля предусмотрена кольцевая заточка. Обе части скрепляют скобами и устанавливают воронку. Скорость подъема металла в форме при заливке должна быть не менее 15 мм/сек.

Отливаемые по описанной технологии валки полностью отвечают предъявляемым требованиям.

2. Втулка цилиндра

В цилиндрах паровой машины совершается рабочий цикл, кроме того, они направляют движение поршней. Для увеличения срока службы и упрощения ремонта в цилиндры запрессовывают втулки из специального износостойчивого чугуна. В цилиндре рабочее давление пара достигает 12,5 ати, а температура 280 °С.

Ниже приведено описание технологии отливки чугунных цилиндрических втулок больших размеров: диаметром 1300 мм, высотой 1400 мм, со стенками 40 мм в чистовом виде.

Технологическими требованиями к отливке обусловлено полное отсутствие литейных дефектов в виде газовых и шлаковых раковин, пористости. Механические характеристики чугуна должны быть не ниже, чем у чугуна марки СЧ 24-44 по ГОСТу 1412.

Формы для цилиндрических втулок изготавливают по металлической чистой модели. Для соблюдения принципа направленного затвердевания в модели предусмотрен наклон поверхности снизу кверху в пределах $\frac{1}{2}^\circ$. Формовка производится в опоках с одновременной набивкой стержня и формы. Сифонная литниковая система выполняется в шамотных трубках.

Форму сушат при температуре 350 °С. Продолжительность общего цикла сушки 8 ч. Сверху на модели выполняется кольцевая прибыль высотой 250 мм. Заливка производится в открытую форму. Попытки отлить указанные детали из чугуна, выплавленного в вагранках, привели к большим неудачам. Поэтому была принята технология заливки ответственных цилиндрических втулок чугуном, выплавленным в электропечи. Получить чугун с высокой температурой перегрева в дуговой электропечи не представляет особых трудностей.

На практике цилиндрические втулки отливали с пониженной твердостью. Для получения требуемой твердости втулки, как показал опыт, необходимо произвести механическую обработку отливки, оставив припуски по 5—8 мм на сторону, и полуобработанную отливку подвергнуть термической обработке по

следующему режиму: нагреть ее в печи до температуры 910 °С (скорость подъема 100° в час); выдержать при температуре 910 °С в течение 3 ч, выкатить из печи и равномерно охладить по всей поверхности путем обдува сжатым воздухом и полива водой.

Термообработку детали по этому режиму нужно произвести дважды. Обработка указанным способом дает возможность повысить твердость детали с HB 170 до HB 207.

3. Подовый брус

Подовый брус служит направляющим основанием для скольжения прокатных заготовок при прохождении их через томильную зону методической печи. Металл, поступающий в томильную зону, имеет высокую температуру поверхности и в этой зоне происходит выравнивание температуры по сечению заготовок. Температура металла в томильной зоне поддерживается 1200—1300 °С, поэтому подовые брусья необходимо изготавливать из такого материала, который хорошо выдерживает истирающее действие передвигающегося металла при высокой температуре.

Таким материалом является высоколегированная сталь марки X28Л (ГОСТ 2176), имеющая следующие механические свойства: предел прочности при растяжении не менее 35 кг/мм² предел прочности при изгибе не менее 55 кг/мм², стрела прогиба не менее 6 мм, твердость HB 220—270.

Химический состав стали X28Л следующий: 0,5—1,0 % углерода; 0,5—1,3 % кремния; 0,5—0,8 % марганца; 26,0—30,0 % хрома; до 0,08 % серы и до 0,10 % фосфора. Выплавка стали производят в электропечах ДСТ-3 и ДС-5.

Раскисление металла производят образованием слабокарбидного шлака с присадкой молотого ферросилиция. После скачивания окислительного шлака на голый металл подается шлаковая смесь, состоящая из 70 % извести и 25 % плавикового шпата, в количестве 2,5—3,0 % от веса металла.

Через 10 мин после образования жидкоподвижного шлака, последний периодически обрабатывается смесью молотого кокса и мелко толченой извести до посветления шлака при остывании до серого цвета. Затем через каждые 10—15 мин ванна перемешивается, а в печь присаживается раскислительная смесь следующего состава: 60 % по объему извести, 25 % молотого сухого кокса, 15 % молотого сухого ферросилиция.

При наличии светлого шлака и удовлетворительной пробы металла на усадку в печь присаживается феррохром из расчета на средний предел. Феррохром дается прокаленный двумя порциями. Угар хрома принимается равным 5 %.

За 10 мин до выпуска металла в печь присаживается ферросилиций (с учетом кремния, вводимого раскислительным шлаком), а за 2—3 мин до выпуска в печь на штанге вводится алюминий из расчета 700 г на 1 т.

Температура выпуска стали должна быть 1480—1500 °С, а начала заливки 1450 °С.

Отливки выдерживают в опоках до полного остывания и термообработке не подвергают.

Стойкость подовых брусьев, отлитых из указанной марки стали, достигает 12 месяцев.

Формовка. Размеры подового бруса 300x150 мм, длина 5— 6 м. Формовка производится в парных опоках. Опоки литые, обработанные. По описываемой технологии (рис. 32) в каждой опоке одновременно формуется два бруса.

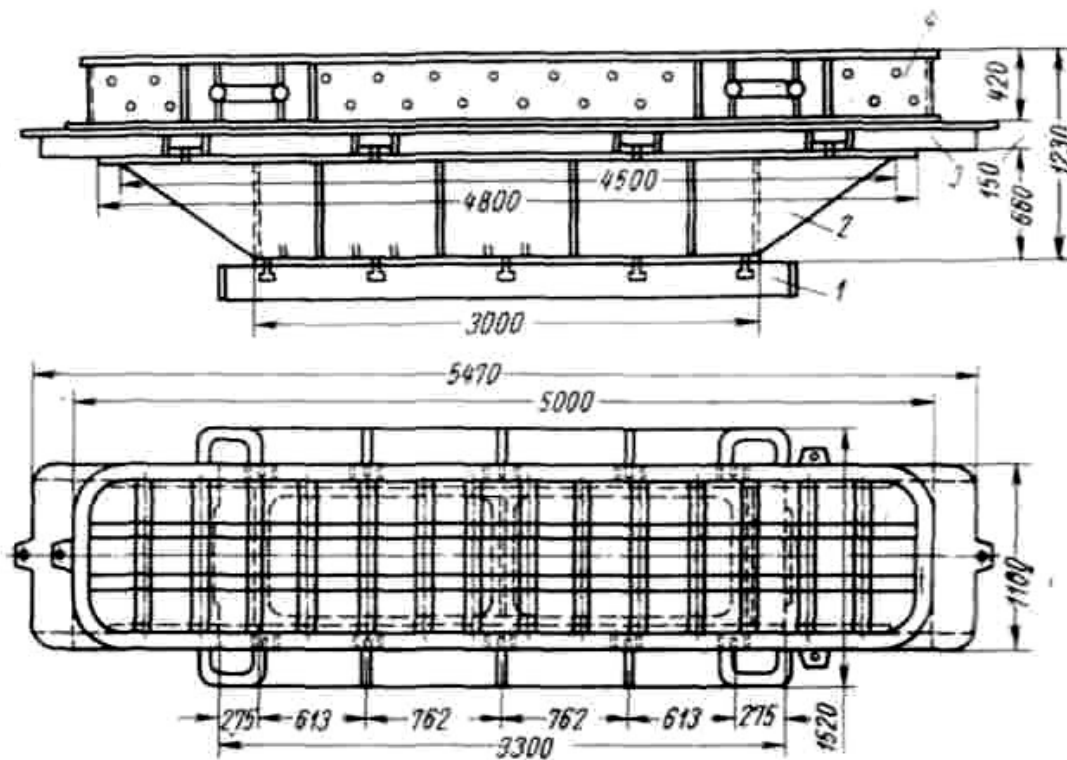


Рис. 32. Промежуточный стол для формовки деталей в удлиненных опоках

Известно, что детали подобной длины на встряхивающих формовочных машинах с перекидным столом не формуют из-за того, что боковые кронштейны перекидного стола выступают выше плиты 1. В целях механизации формовочных работ для деталей удлиненных размеров был сконструирован и применен сварной облегченный промежуточный стол 2, по конструкции которого можно обойти по высоте кронштейны перекидного стола.

На промежуточном столе крепят модельную плиту 3, превышающую по длине стол, как видно на рис. 32. При формовке опока 4 ставится на модельную плиту. После уплотнения встряхиванием с последующим уплотнением пневматической трамбовкой раскрывают форму обычным способом. Опыт применения промежуточного стола показал возможность производить формовку удлиненных деталей на встряхивающих формовочных машинах с перекидным столом. В результате применения промежуточного стола удалось механизировать формовочные работы на удлиненных деталях.

4. Направляющий брус

Направляющий брус является сменной деталью методической печи и служит для поштучной подачи нагретых заготовок на рольганг. Поскольку направляющий брус частично находится в печи, он подвержен воздействию печных газов. Кроме того, раскаленные заготовки, скользящие по брусу, нагревают его и истирают поверхность. С целью предупреждения сильного перегрева в стальной литой направляющий брус заливается цельнотянутая труба, по которой подается охлаждающая вода. Срок службы брусьев такой конструкции 12 месяцев. Для увеличения стойкости направляющую поверхность бруса наплавляют сормайтотом.

На рис. 33 показана форма для отливки бруса из стали 35Л (ГОСТ 977). В комплект методической печи входит четыре бруса: два левых и два правых, которые отличаются расположением приливов. При отливке левого бруса прилив *a* выполняется моделью, а правого — стержнем.

Формовка производится по разъемной модели в парных опоках по сырому на встряхивающей формовочной машине с перекидным столом. После уплотнения встряхиванием и дополнительного уплотнения пневматической трамбовкой перекидной стол вместе с модельной плитой и опокой с помощью рычажного механизма переворачивают и устанавливают в перевернутом положении над приемным столом машины. При вытяжке модели перекидной стол вместе с модельной плитой остается в верхнем положении, а опока опускается вниз на приемном столе и убирается мостовым краном. Верхняя 1 и нижняя 2 опоки стальные литые. Разветвленная литниковая система 3 выполнена на модели под стержнями.

Сложность отливки заключается в том, что в брус, сечением 200x300 мм нужно залить трубу 4 диаметром 76 мм с толщиной стенки 8—10 мм. Практика показала, что заливка такой трубы простой ее установкой в форму невозможна, так как при температуре заливки около 1500 °С труба при наполнении формы металлом резко нагревается и в ней возникают значительные напряжения (растягивающие изнутри и сжимающие снаружи), которые обычно приводят к прогару трубы, а отливка, естественно, переходит в брак.

Для предупреждения прогара трубы, последнюю предварительно обливают сталью по всей поверхности. По специальной модели, соответствующей трубе, делают форму квадратного сечения с таким расчетом, чтобы заливаемый слой был толщиной 20 мм. В приготовленную форму вставляют трубу и по разветвленной литниковой системе обливают сталью всю поверхность трубы. Трубу, облитую сталью 35Л, устанавливают в форму, раскрепляют жеребейками 5, устанавливают стержни № 1—4 и заливают брус. Продолжительность выдержки залитой отливки в форме должна быть не менее 16 ч.

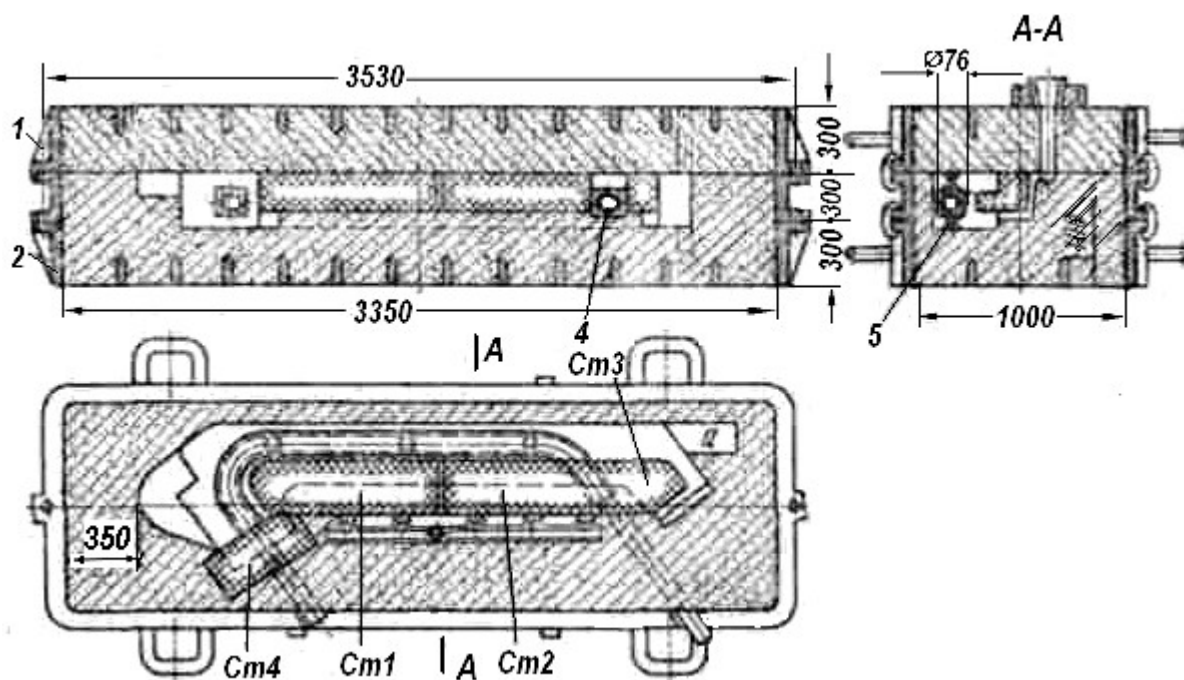


Рис. 33. Форма для отливки направляющих брусьев

Внедрение описанной технологии в производство позволяет полностью исключить брак направляющих брусьев по прогару труб.

5. Соединительная муфта

Соединительные муфты являются промежуточным звеном между шпинделями и прокатными валками. Они представляют собой цилиндр с внутренней полостью трфеообразного сечения, с помощью которого осуществляется нежесткое соединение. В процессе работы муфта испытывает значительные механические напряжения, сопровождающиеся ударами. Вращение осуществляется с помощью кулачков, расположенных на внутренней поверхности муфты и трефа на шейке валка или шпинделя.

Основные причины выхода из строя соединительных муфт: трещины и разрыв при чрезмерных нагрузках, износ (смятие кулачков). Особенно быстро изнашиваются кулачки в муфтах при работе на реверсивных станах в процессе многократных переменных ударных нагрузок.

На металлургических заводах применяют соединительные муфты, изготовленные из обычного серого чугуна, углеродистой стали и модифицированного чугуна. Стойкость соединительных муфт, отлитых из указанных материалов, низкая. Так, например, для листового стана расход в год составлял 82 муфты из стали 35Л весом 1150 кг.

С целью повышения стойкости была освоена технология отливки муфт из высокомарганцевой стали Г13Л (110Г13Л) (ГОСТ 2176). Технология выплавки данной стали, условия заливки форм и термическая обработка отлитых муфт должны обеспечить чисто аустенитную структуру, так как только при этом условии сталь Г13Л обладает высокой износостойкостью.

В предлагаемом технологическом процессе (рис. 34) предусмотрена

отливка соединительных муфт из высокомарганцевой стали в металлическую форму, состоящую из трех частей отлитых из серого чугуна марок СЧ 12-28 или СЧ 15-32 (ГОСТ 1412). Нижней частью формы служит поддон 1, имеющий в центре кольцевую выточку для установки стержневого ящика. Для отвода газов из стержней в дне поддона просверлены отверстия. Для образования наружной поверхности муфты служит средняя часть кокиля 6. В верхней части формы 7 расположены закрытые прибыли.

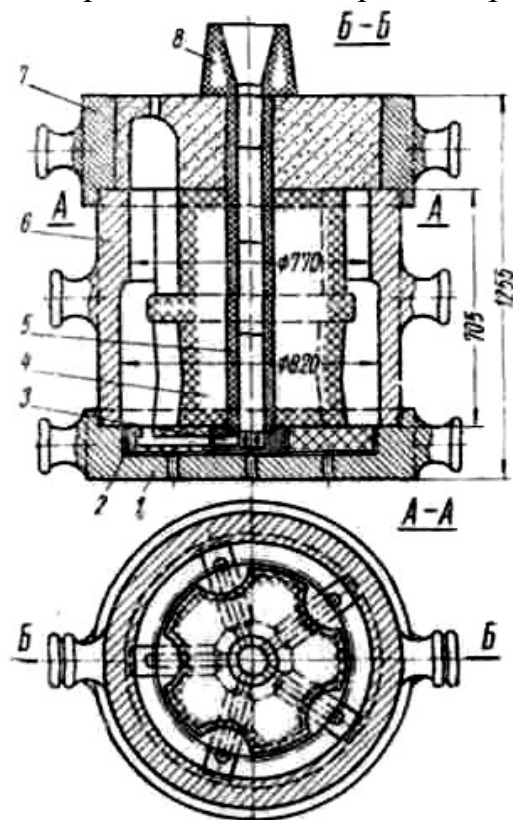


Рис. 34. Форма для отливки соединительной муфты

Центральный стержень 4 — разовый, его изготавливают по деревянному ящику. Ящик разъемный, состоит из двух половин; вкладыши, образующие выемки в стержне, сделаны отъемными. Для изготовления стержня ящик устанавливают в кольцевую выточку в поддоне, что надежно фиксирует правильность положения при формовке. В нижней части формы при формовке устанавливают стержень питателя 2 и стержень-звездочку 3. Стояк 5 расположен в центре стержня и выполнен в шамотных трубках. Сверху устанавливают литниковую воронку 8. При установке на поддон средней части кокиля совпадение осей кокиля и поддона с центральным стержнем обеспечивается кольцевыми заточками на поверхности разъема. Верхнюю часть кокиля формуют на специальной подмодельной плите, правильность расположения которой также фиксируется заточками.

Нагретый кокиль красят обычной маршалитовой краской. Стержень красят хромомагнетитовой краской. Кокиль с просушенным стержнем собирают и

заливают в подогретом состоянии (60—80 °С). Отлитые муфты подвергают закалке в воде по режиму, соответствующему режиму закалки стали Г13Л. На практике при эксплуатации соединительных муфт для листового стана, отлитых из стали Г13Л, получены хорошие результаты. Стойкость муфт в эксплуатации увеличилась в 20 раз и расход составил всего 4 муфты в год.

Особенностью данной технологии является удачное использование специфического свойства стали Г13Л при ударных нагрузках получать наклеп поверхностей, исключая быстрый износ кулачков соединительных муфт.

На основании приведенного опыта в целях увеличения срока службы соединительных муфт, работающих на реверсивных передачах, следует рекомендовать описанную технологию для применения на других заводах.

6. Гайка траверсы блюминга

Гайка траверсы блюминга работает в условиях трения при высоких нагрузках. По ранее принятой технологии эту деталь отливали в разовую песчаную форму, в качестве материала использовали оловянную бронзу, замененную затем алюминиевой бронзой БрАЖ9-4 (ГОСТ 493), обладающей более высокими механическими, антикоррозионными свойствами и хорошей сопротивляемостью износу. Существенным недостатком этой бронзы при работе на трение является склонность к «намазыванию» на поверхность сопрягаемой детали, что в некоторой степени вызвало известную осторожность ее применения.

Однако длительная практика использования бронзы БрАЖ9-4 для тяжелонагруженных деталей металлургического оборудования, работающих в условиях трения скольжением (разнообразные втулки, вкладыши, шестерни, венцы червячных колес нажимных устройств, опорные сухари шпинделей прокатных станов) показала, что явления «намазывания» можно избежать. Для этого необходимо, чтобы поверхности сопрягаемых деталей имели твердость не ниже *HV* 220—240 и были отшлифованы. Требуемая твердость достигается термической обработкой, режим которой определяют в зависимости от содержания алюминия в бронзе.

Установлено, что при замене оловянных бронз (таких, как БрОЦС6-6-3, БрОЦС5-5-5 и др.) алюминиевой бронзой БрАЖ9-4 в производстве отливок для металлургического оборудования значительно снижаются аварийные простои различных механизмов из-за преждевременного износа деталей; кроме того, себестоимость 1 т алюминиевой бронзы на 30—35 руб. ниже стоимости оловянных бронз указанных марок.

Гайка траверсы блюминга имеет следующие размеры: высота 465 мм, максимальный наружный диаметр 732 мм, стенки толщиной 135 мм. Вес отливки 700 кг. Гайку обрабатывают кругом, на внутренней поверхности (по диаметру 463 мм) нарезают резьбу. Литье в песчаную форму не обеспечивало выполнения основных требований, предъявляемых к заготовке; несмотря на неоднократные изменения отдельных параметров технологического процесса отливки получались

неплотными, при механической обработке в области резьбы вскрывалось большое количество раковин. Применение кокиля позволило полностью устранить трудность получения здоровых отливок данной детали.

Форма для отливки гайки траверсы блюминга (рис. 35) состоит из трех металлических частей: нижней 5, средней 6 и верхней 7. Стенки кокиля толщиной 90 мм, для центрирования частей кокиля по обоим разъемам выполнены кольцевые заточки.

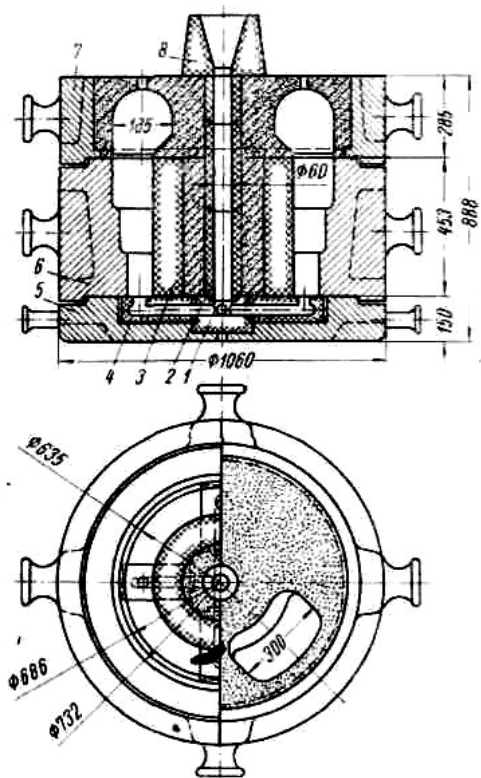


Рис. 35. Форма для отливки гайки траверсы блюминга

Внутренняя (рабочая) поверхность кокиля обрабатывается с уклоном 1 : 5. Цилиндрическая полость в отливке образуется пустотелым стержнем 3 из хромомагнетитовой смеси следующего состава: 94 % по объему хромомагнетитового порошка, просеянного через сито с ячейкой 2 мм; 6 % огнеупорной глины; 8 % сульфитного щелока с удельным весом 1,25—1,50.

Физико-механические свойства этой смеси должны быть в следующих пределах: газопроницаемость 80—85; влажность 4—6 %; предел прочности по сырому 0,17—0,22 кг/см²; предел прочности по сухому 5,5—9,5 кг/см².

Вследствие быстрого высыхания хромомагнетитовая смесь должна быть использована не позднее чем через 2 ч после приготовления. Мелкие стержни из хромомагнетитовой смеси выполняются сплошными, крупные (как в данном случае) целесообразно изготавливать пустотелыми и внутреннюю полость при сборке формы засыпать сухим песком. Хромомагнетитовые стержни окрашивают графитовой краской на сульфитном щелоке с удельным весом 1,10—1,15 и просушивают в камерных сушилках при температуре 250—350 °С в течение 3—6 ч (в зависимости от величины и конфигурации стержня).

Применение таких стержней позволяет полностью ликвидировать раковины в области внутренней поверхности пустотелых отливок.

Литниковая система состоит из чаши 8; стояка 2, выполненного шамотными трубками с внутренним диаметром 60 мм; распределительного стержня-звездочки 1 и четырех стержней-питателей 4 с отверстием диаметром 30 мм.

Прибыли закрытые с односторонним скосом у основания под углом 45°; количество прибылей — две. Выход годного (при общем весе прибылей 172 кг и весе литников 30 кг) составляет 78 %. Расчет таких прибылей приводится ниже.

Верхняя часть 7 набивается обычной формовочной смесью на специальной подмодельной плите; прибыли, таким образом, работают по сравнению с отливкой как утепленные и застывают в последнюю очередь.

Кокиль окрашивается маршалитовой краской. Покрашенный кокиль с установленным в него стержнем направляется в камерное сушило для просушки и подогрева; верхняя часть кокиля при этом снимается и сушится отдельно.

Температура кокиля перед заливкой должна быть 60—80 °С, продолжительность заливки 40—50 сек.

7. Венец червячного колеса

Венец червячного колеса для листового стана отливают также из бронзы БрАЖ 9-4. Стенки его толщиной 150 мм, высота 205 мм, вес детали 450 кг. При литье в песчаную форму свыше 20 % заготовок уходило в окончательный брак, так как при нарезке зубьев по наружному диаметру 900 мм в отливке вскрывались литейные дефекты в виде окисных плен, газовой пористости и усадочных раковин. На рис. 36 показана металлическая форма для отливки этой детали.

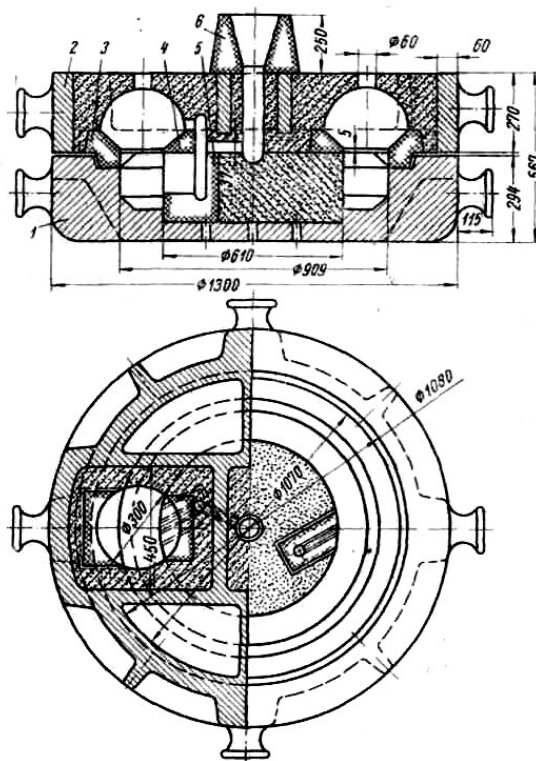


Рис. 36. Форма для отливки венца червячного колеса

Форма состоит из двух металлических частей, несложных в изготовлении: кокиля 1 и верхнего кольца 2. Отливка снабжается двумя закрытыми сфероидальными прибылями с двусторонним скосом под углом 45° ; скосы образуются стержнями 3 и 4. Щелевые питатели выполняются в стержнях 5; литниковая чаша 6 изготавливается из обычной стержневой смеси.

Применение данной технологии позволило полностью ликвидировать брак по указанным выше причинам; в результате установки закрытых сфероидальных прибылей вместо открытых цилиндрических удалось повысить выход годного с 60 до 73 %.

7. Расчет прибылей для отливок из бронзы БрАЖ 9-4.

Длительной практикой установлено что для крупных ответственных отливок из бронзы БрАЖ9-4 лучшие результаты достигаются при использовании сфероидальных закрытых прибылей, которые обеспечивают получение здоровых плотных отливок при высоком выходе годного, что является особенно важным с точки зрения экономии цветных металлов.

Размеры прибыли рассчитывают не только в зависимости от диаметра вписанной сферы, но и в зависимости от веса питаемого узла. Прибыли имеют у своего основания односторонний или двусторонний скос под углом 45° и постоянное отношение диаметра к нижнему основанию прибыли, которое составляет 1,5 или 2,0.

В связи с тем, что бронза БрАЖ9-4 обладает очень узким интервалом кристаллизации, в отливках из этой бронзы рассеянная пористость, как правило, отсутствует, а форма образующейся усадочной раковины полностью повторяет контур прибыльной части отливки. Это дает возможность задаваться формой усадочной раковины при расчете прибылей.

Сфероидальные прибыли с заданной формой усадочной раковины с двусторонним скосом у основания под углом 45° (рис. 37) устанавливают на питаемых узлах, имеющих отношение высоты к толщине не более 3.

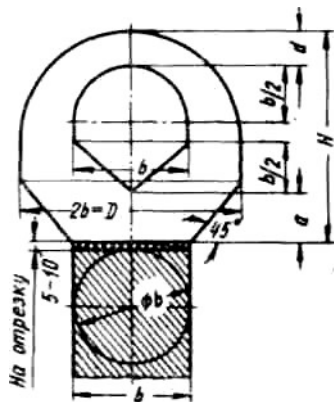


Рис. 37. Схема сфероидальной закрытой прибыли с двусторонним скосом у основания

Ширину основания прибыли определяют двумя способами: по диаметру

вписанной в питаемый узел сферы или по формуле

$$b = 1,5\sqrt[3]{P}$$

где b — ширина нижнего основания прибыли в см;

P — вес питаемого узла в кг.

Из двух полученных значений b принимается большее. Количество прибылей на отливках должно быть не более двух, так как при этом создаются более благоприятные условия для направленного затвердевания.

Диаметр прибыли определяют по формуле

$$D = 2b.$$

Высоту прибыли находят из уравнения

$$H = 1,2\left(\frac{5,1}{b^2} + \frac{b}{3}\right) + a + d.$$

Величину a на основании данных практики устанавливают следующей: при b , равном до 130 мм, $a = 2,5$ см; при b , равном 130—250 мм, $a = 2,5 \div 5,5$ см; при b , равном 250—370 мм, $a = 5,5 \div 7,0$ см.

Величина d в закрытых прибылях составляет: при b , равном до 130 мм, $d = 2,5$ см; при величине b более 130 мм $d = 2,5 \div 4,0$ см.

Вес прибыли подсчитывают по упрощенной формуле

$$Q = \gamma \left[0,13D^2(6H - D) - 0,004P \right] \text{ кг},$$

где γ — удельный вес (для бронзы БрАЖ9-4 $\gamma = 7,6$ кг/дм³);

D — диаметр прибыли в дм;

H — высота прибыли в дм;

P — вес питаемого узла в кг;

0,004 — коэффициент усадки бронзы.

Если у питаемых узлов отношение высоты к толщине стенки превышает 3, то для таких отливок наиболее целесообразно применять сфероидальные прибыли с односторонним скосом у основания (рис. 38).

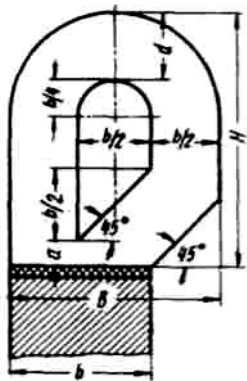


Рис. 38. Схема сфероидальной закрытой прибыли с односторонним скосом у основания

Как и в предыдущем случае, расчет этих прибылей ведется также в

зависимости от веса питаемого узла. Если толщина питаемого узла составляет b , то толщина прибыли принимается равной

$$B = 1,5b.$$

Протяженность прибыли равна

$$L = 2,5b.$$

Высоту прибыли определяют по формуле

$$H = 1,2 \left(\frac{5,3}{b^2} + 0,1b \right) + a + d.$$

Значения a и d принимают такими же, как и для рассмотренных выше прибылей с двусторонним скосом.

Вычисление веса прибыли производится по формуле

$$Q = \gamma [b^2 (3,75H - 0,33b) - 0,004P].$$

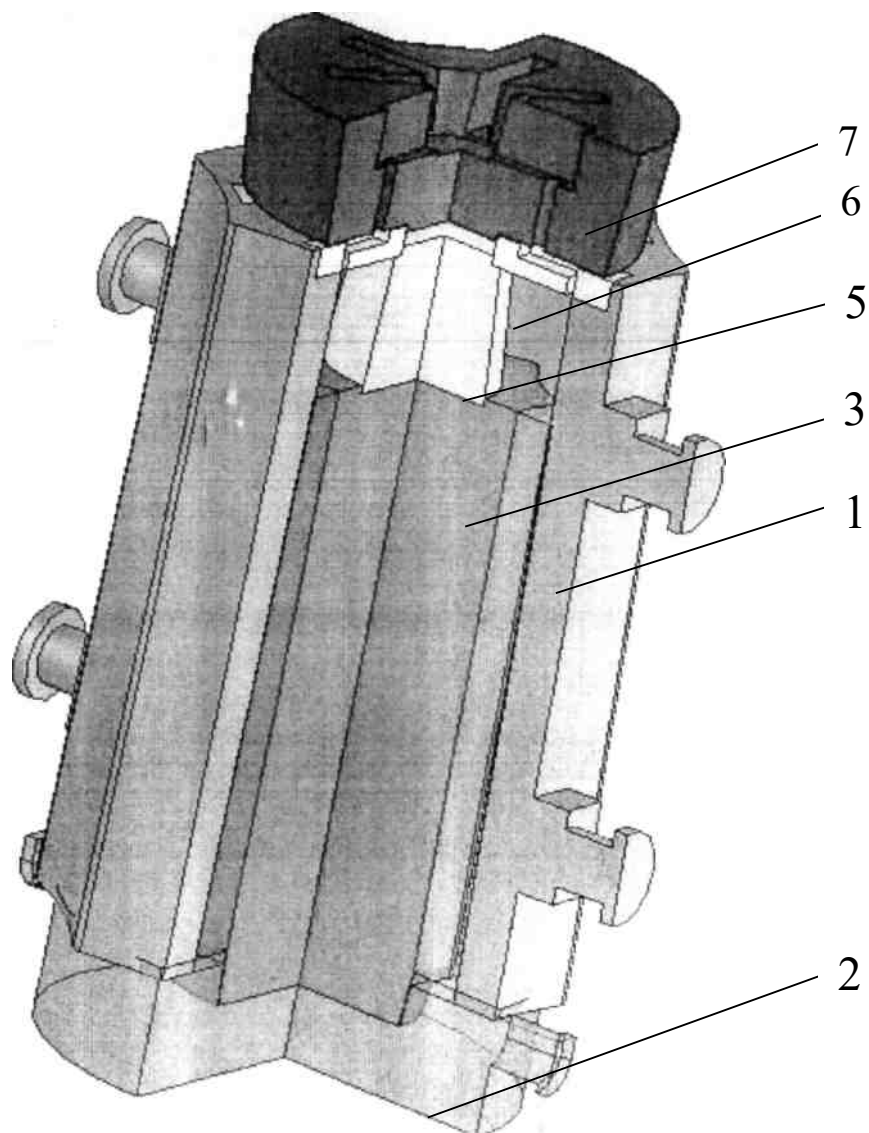
Рассмотренный метод расчета сфероидальных прибылей очень простой и надежный. Его можно успешно применять и при расчете прибылей для отливок из других сплавов, причем значения коэффициентов, входящих в приведенные формулы, необходимо уточнять применительно к этим сплавам.

Лекция 22

ИЗЛОЖНИЦА

Освоение технологии изготовления стальных изложниц в кокиль позволило:

1. Снизить стоимость изложниц по сравнению с изготовлением их из чугуна.
2. За счёт снижения толщины стенки изложницы по сравнению с изложницами из чугуна стало возможным изготавливать изложницы большого развеса, которые ранее заказывались на стороне.
3. За счёт формообразования наружного контура в многократной кокильной оснастке снизить вдвое временные, материальные и трудовые затраты при изготовлении изложниц.
4. Повысить стойкость изложниц в процессе эксплуатации в 1,5—2 раза.
5. Производить текущий ремонт изложниц для удаления дефектов, возникающих в процессе эксплуатации.



- 1 — верхняя часть кокиля;
- 2 — нижняя часть кокиля;
- 3 — стержень, выполняющий внутреннюю поверхность отливаемой изложницы;
- 4 — промежуточный стержень для выполнения прибыли;
- 5 — литниковый стержень;
- 6 — стержень — распределитель металла по контуру заливаемой изложницы;

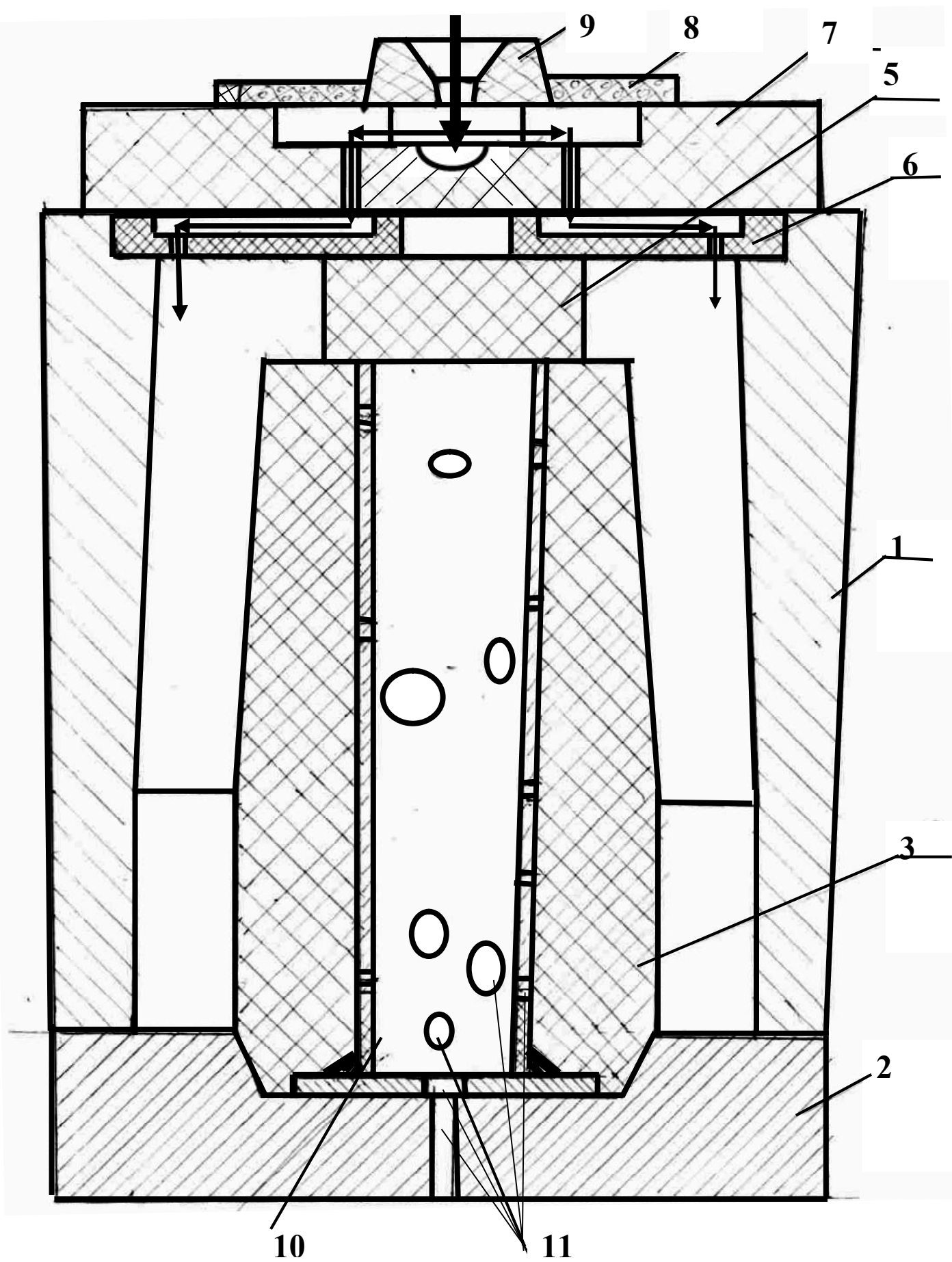


Рис. 1 Металлическая форма для отливки стальных изложниц для слитков развесом, т.:

3,55; 5,2; 6,3—7,8; 8,3—9,8; 10,5; 11,8; 13,3; 15,6:

- 1 — верхняя часть кокиля;
- 2 — нижняя часть кокиля;
- 3 — стержень, выполняющий внутреннюю поверхность отливаемой изложницы;
- 5 — промежуточный стержень для выполнения прибыли;
- 6 — литниковый стержень;
- 7 — стержень — распределитель металла по контуру заливаемой изложницы;
- 8 — стержень — перекрыша;
- 9 — литниковая воронка;
- 10 — каркас стержня;
- 11 — отверстия для выхода газа из стержня

Лекция 22

ВЫБОР СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

Практика производства мелкосерийного среднего и крупного литья показывает, что если габариты модели отливки вписываются в размеры опоки для машинной формовки, то ее рентабельно изготовлять на формовочной машине. Этого достигают применением быстросменной оснастки (формовка накрест или с применением координатных модельных вкладышей и подмодельных плит).

Для изготовления отливок большими сериями современное литейное производство располагает широким спектром автоматических формовочных линий с различными способами уплотнения и упрочнения формовочных смесей. Полная автоматизация всех процессов производства литья и применение высококачественных материалов позволяют получать отливки высокого качества.

В настоящее время конкурируют традиционные процессы изготовления литейных форм с применением песчано-глинистых, песчано-смоляных, песчано-жидкостекольных и др. смесей с процессами, в которых используют чистый формовочный песок без связующего. К ним относятся вакуум-пленочная, магнитная формовка и формовка по выжигаемым газифицируемым моделям.

Целью данной работы является попытка разграничить многообразие способов формовки и процессов упрочнения и обосновать целесообразность их применения в зависимости от серийности массы, конструктивных особенностей отливок и других факторов.

Импульсная формовка

При изготовлении серийных отливок из различных сплавов развесом до 200 кг перспективной остается формовка с применением воздушно-импульсного уплотнения песчано-глинистой смеси в сочетании с различными способами доуплотнения, которые позволяют достигать высокой равномерной плотности и газопроницаемости формы по всему объему независимо от конфигурации модели.

Современные технологии импульсного уплотнения включают процессы создания мощного направленного потока воздуха, увлекающего и распределяющего частицы смеси в опоке и уплотняющего их в процессе фильтрации. Для повышения эффективности уплотнения используют дополнительное вакуумирование через модельную оснастку и др. различные известные способы прессования. Например, используют мультиплунжерную прессовую головку, состоящую из нескольких прессующих зон, с помощью которых достигается точное, индивидуальное по каждому модельному комплекту формообразование.

Основными достоинствами этого способа изготовления форм, кроме указанных, является универсальность, достаточно высокая производительность (в пределах 140 форм в час), бесшумность, отсутствие массивных фундаментов.

Применение систем быстрой смены оснастки на данных автоматических линиях значительно повышает их конкурентоспособность.

Безопочная формовка

Мелкие отливки (до 30 кг) большими сериями предпочтительнее изготавливать на автоматических линиях безопочной формовки с горизонтальной или вертикальной плоскостями разъема. Такие линии отличаются высокой производительностью и используются наиболее эффективно при производстве чугунного литья. Наиболее прогрессивны автоматизированные линии с вертикальной плоскостью разъема. Например, программа управления линий позволяет автоматически устанавливать до 100 параметров работы механизмов. Для быстрой смены оснастки используют блок-устройство для полуавтоматической смены моделей в течение 3...10 мин. Достигнута производительность формовочной линии с автоматической простановкой стержней до 300 форм в час.

Формовка с использованием холоднотвердеющих смесей

Средние и относительно крупные отливки из черных сплавов некоторые отливки из алюминиевых сплавов, например поддоны двигателей, крыльчатки вентиляторов изготавливают преимущественно на автоматических формовочных линиях с использованием холоднотвердеющих смесей (ХТС).

Достоинством этих линий является их универсальность по сплавам и процессам, легкая переналаживаемость, возможность производить точные, сложные, разностенные высококачественные отливки.

В некоторых случаях при изготовлении определенной номенклатуры отливок формы изготавливают без опок. Отмечены положительные экономические показатели эксплуатации подобных линий, такие как повышение производительности труда, снижение затрат на формовочные пески и смолы, на оплату труда, небольшие капитальные затраты.

Линии с использованием ХТС обеспечивают автоматизацию управления процессами даже при мелкосерийном производстве. Линии состоят, как правило, из автоматического конвейера, блоков накопления форм под сборку, заливку и охлаждение, шнекового смесителя, вибростола, протяжной установки, гидравлических манипуляторов для окраски, простановки стержней и спаривания полуформ. Последовательность всех операций и качество технологических операций, включая заливку и охлаждение, контролируются автоматически.

Особое внимание уделено высокопроизводительным миксерам, которыми управляют программы, позволяющие автоматически выбирать различные типы смесей и изготавливать их по необходимым режимам. Конструкции смесителей предусматривают легкую очистку агрегата, а для увеличения срока службы изнашивающихся деталей их покрывают карбидами вольфрама.

Созданы линии ХТС, на которых возможно делать средние и крупные формы различных размеров, размещаемые на одном моделиносителе. Например формы размером от 1100х1100х200 до 1940х2070х450 мм могут быть размещены на моделиносителе размером 2100х2800 мм; производительность такой линии 14 форм/ч. Количество замен оснастки в день — до 24. Для обеспечения линии используют шнековый смеситель производительностью 60 т/ч.

На подобных линиях с сокращенным перечнем механизированных операций изготавливают средние и крупные отливки мелкими сериями. Чем меньше серия, тем меньше степень автоматизации. Крупные единичные отливки массой более 2 т. из черных сплавов рентабельно изготавливать по данной технологии в других комбинированных индивидуальных формах. На практике часто формируют нижнюю полуформу в яме или кессоне по гладкой деревянной модели в "кусках" из ХТС. Куски, оформляющие боковые стенки, разделяют тонкими пенопластовыми (мягкими) листами.

Такая технология позволяет достаточно точно воспроизводить отпечаток модели в процессе сборки формы. Каждый отвержденный кусок формы, имея индивидуальные признаки геометрии (метки), находит свое фиксированное место во время сборки. Благодаря низкому содержанию связующего в смеси (до 1 %) экологическая обстановка в цехах индивидуального литья находится в пределах санитарных норм.

Вакуумная формовка

Конкурентоспособным в настоящее время является вакуум-процесс, при котором формы упрочняются под воздействием вакуума. Вакуум-пленочная формовка считается особенно эффективной при производстве протяженных, сложных отливок из чугуна и стали. При этом отношение массы заливаемого металла к массе наполнителя формы должно быть минимальным для достижения оптимальных теплофизических и экономических параметров процесса.

Освоено серийное производство чугунных ванн с толщиной стенки 4 мм, стальных отливок конструкций железнодорожных вагонов (равностенных и протяженных заготовок типа рам и надрессорных балок), а также автомобильных задних мостов и других ответственных деталей типа задвижек для нефтяной и газовой промышленности.

Преимущества линий вакуумной формовки очевидны. Основными достоинствами являются: экологичность процесса, отсутствие связующего в составе смеси и традиционных систем приготовления и регенерации смесей, повышенная точность литья и более высокий общий уровень качества. Высокое качество поверхности отливки обеспечивается за счет снижения уровня перегрева сплава, так как воздействие вакуума способствует лучшему заполнению формы.

По сравнению с сырой формой из песчано-глинистой смеси заполняемость вакуумной формы выше на 30 %. Кроме того, высокому качеству отпечатка модели способствует применение мелкого огнеупорного песка соответствующего гранулометрического состава.

Воздействие вакуума в процессе заливки, отсос образующихся газов, позволяют получать отливки, свободные от газовых дефектов, а податливая форма способствует получению заготовок без горячих трещин. Кроме того, достигается экономический эффект за счет снижения расхода материалов, в том числе снижения массы отливок на 5 %, доли образования отходов, трудоемкости на финишных операциях и повышения срока службы моделей.

К недостаткам, которые могут сдерживать внедрение технологии вакуумной формовки, следует отнести высокие разовые капитальные затраты на оборудование и оснастку, большой расход электроэнергии при эксплуатации оборудования (в основном на поддержание вакуума в системах).

Высокие капитальные затраты обусловлены большой металлоемкостью оборудования и сложностью опок, которые имеют двойные герметичные стенки, оснащенные вакуумными вентилями, специальными вентиляционными трубами, обратными клапанами, соединительными конусами и другими специальными устройствами, необходимыми для создания вакуума внутри опоки и при проведении различных манипуляций с полуформами.

Габаритные размеры опок и подмодельных плит для вакуумной формовки значительно больше обычных, что влечет увеличение размеров всех систем линий. Кроме того, обстановку в цехе осложняет наличие различных вакуум-проводов.

При изготовлении форм для стальных отливок массой более 200 кг необходимо выполнять литниковую систему в керамических трубах.

Существенным недостатком вакуумной технологии является то, что система не допускает случайных отключений электроэнергии, так как это может привести к серьезной аварии.

Общий итоговый экономический эффект от внедрения технологии вакуумной формовки при изготовлении отливок является положительным и позволяет снижать себестоимость отливок на 20...30 %.

В своем развитии литейное производство должно двигаться синхронно с тенденциями развития машиностроения. Учитывая то, что ключевыми параметрами развития в настоящее время являются бережливая концепция организации производства, то и применяемые технологии должны вписываться в эти рамки. Основными пунктами концепции являются гибкие, перенастраиваемые системы X1 выпуска продукции ограниченными сериями, сокращение складских помещений, объемов незавершенного производства, людских ресурсов за счет внедрения частичной или полной автоматизации. Этим требованиям отвечают рассмотренные выше процессы получения литейной формы.

Выводы

Современные процессы формообразования в достаточной степени универсальны, но в зависимости от серийности и массы производимых отливок могут быть разграничены.

Мелкие отливки большими сериями рентабельнее изготавливать на линиях и автоматах безопочной формовки с применением песчано-глинистых смесей.

Средние отливки из различных сплавов малыми и большими сериями изготавливают преимущественно с применением импульсной формовки. Конкуренцию этому способу составляет вакуум-пленочная формовка, которая имеет реальную перспективу.

Крупное литье и другие единичные отливки целесообразно изготавливать с применением холоднотвердеющих смесей.

ВЫБОР СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ ОТВЕРЖДЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ

Точность, термостойкость и прочность стержней определяют сложность, точность и качество получаемых отливок. Считается, что повышение эффективности работы автомобильных двигателей связано с развитием процессов изготовления литейных стержней, позволяющих жестко стабилизировать их размеры за счет применения процессов отверждения стержней в холодной оснастке [1]. Снижением величины допусков по зазорам

стыковки стержней при сборке блоков достигнута необходимая, постоянная конфигурация полостей, литых маслоканалов и равенность отливок.

Существует большое многообразие технологий получения стержней. *Цель данной статьи* – выделить наиболее перспективные технологии изготовления стержней и дать рекомендации по их применению.

Известны несколько направлений развития технологий изготовления стержней по холодным ящикам в зависимости от скорости отверждения смеси, которая определяет производительность процессов. Наиболее конкурентоспособными остаются процессы получения стержней с отверждением их газообразными катализаторами в течение 2...8 с. Стержни сразу после отделки и комплектации могут быть поданы на конвейер. Созданы автоматические стержневые машины с объемом пескодувной головки от нескольких литров до 50 л и более. В качестве газов-отвердителей обычно применяют **диметиламин, триэтиламин метилформиат или сернистый газ**. В зависимости от применяемого отвердителя процессы имеют названия **Амин-процесс, Альфа-сет-процесс, Бета-сет-процесс, SO₂-процесс и др.**

Амин-процесс изготовления стержней основан на том, что после заполнения стержневого ящика песчано-смоляной смесью и ее уплотнения стержень продувается газом-отвердителем (парами амина в газе-носителе) под давлением 0,03...0,3 МПа, а затем воздухом для удаления остатков токсичного катализатора. Избыток газа и смесь газа с воздухом направляют в нейтрализатор. Суммарный расход связующего (фенольная и полиизоцианатная смолы в соотношении 1:1) составляет 1,2...1,8 мас. ч. на 100 мас. ч. кварцевого обогащенного песка.

В качестве отвердителей используют пары триэтиламина (ТЭА), диметилизопропиламина (ДМИА), диметилэтиламина (ДМЭА) и триметиламина (ТМА). Каталитическая активность смеси газов повышается с увеличением концентрации амина в газе-носителе и ограничивается по взрывобезопасности до 1,5...2 %. Расход амина на общую массу связующего составляет 5...10 %. При использовании ТМА отмечается возрастание влагостойкости стержней, но данный отвердитель обладает более сильным запахом. В настоящее время в качестве отвердителя для данного процесса наиболее распространен ДМЭА. Нейтрализация отработанных газов происходит в растворе серной кислоты с образованием экологически безопасной соли сернокислого аммония.

Все процессы автоматизированы и закрыты от доступа оператора. Стержень в стержневом ящике затвердевает по всему объему и приобретает не менее 80 % окончательной прочности (0,10...0,12 МПа при растяжении), что позволяет извлекать сложные стержни с безупречной чистотой поверхности. Окончательная прочность достигает 0,15...0,18 МПа.

Основным недостатком данной технологии является токсичность компонентов смеси, отвердителей и продуктов отверждения, но эти проблемы контролируются в процессе изготовления стержней. Другими существенными недостатками являются малая живучесть смеси (до 3 ч), разупрочнение стержней при хранении во влажной атмосфере, легкая воспламеняемость

аминов, кроме того, они агрессивны к конструкциям из цветных сплавов на основе алюминия, меди, цинка.

Оснастку и всю арматуру для подачи и удаления аминов необходимо выполнять из стали. Для предупреждения образования ситовидной пористости и ужимин на отливках в смесь вводят 0,1...0,7 % пигмента железистоокисного.

Технология *Амин-процесса* позволяет получать сложные отливки, например блоки цилиндров двигателей с отклонениями от чертежных размеров, не превышающими 0,3 мм. Существенным преимуществом является возможность изготовления стержневых ящиков из пластмасс. Данная технология требует высокой культуры производства в части выполнения требований соблюдения высокой точности дозирования и концентраций амина, а также соблюдения правил техники безопасности.

Несколько уступают по скорости отверждения холоднотвердеющие смеси (ХТС) на основе фенолформальдегидного связующего, специально приготовленного и модифицированного аминопропилтриэтоксисиланом. Фенолформальдегидный олигомер в присутствии избытка щелочи переводят в форму полифенолята с добавлением 0,5 % модификатора. Отверждение проводят в присутствии сложных эфиров (триацетата глицерина, γ -бутиролактона, пропилен карбоната или их смесей).

Процесс получил название *Альфа-сет*. Достоинством этой технологии является пониженная токсичность связующего, содержащего в свободном состоянии фенола 0,5 % и формальдегида менее 0,5 %. Малые объемы выделений паров свободного фенола, формальдегида и метанола на стержневых и формовочных участках, практическое отсутствие выделений диоксида серы и сероорганических соединений после заливки позволяют поддерживать экологическую обстановку в литейном цехе в удовлетворительном состоянии. Уровень токсичности снижен более чем в 10 раз.

Расход связующего 1,5...2,5 мас. ч. на 100 мас. ч. песка. Расход отвердителя до 25 % от содержания связующего. Подбором реагентов (быстродействующего действия и замедленного) живучесть смеси в зависимости от их соотношения регулируется в пределах от 3...4 до 60 мин. Быстрое объемное отверждение ХТС при коротком цикле отверждения позволяет заливать формы металлом уже через 2...3 ч. Отмечена меньшая чувствительность стержней к влаге по сравнению с ХТС на фурановых смолах и особенно ХТС на феноло-изоцианатных связующих.

При изготовлении отливок из стали отмечают пониженную склонность к науглероживанию поверхности и отсутствие насыщения поверхности отливок серой. Высокая термостойкость смеси, хорошая податливость отвержденной смеси при прогреве, отсутствие азота в составляющих позволяют применять стержни при изготовлении средних и крупных отливок из чугуна, высокопрочного чугуна и стали в сырых и упрочненных песчаных формах.

Экологические преимущества, универсальность процесса, достаточные прочностные характеристики отвержденных смесей позволяют рекомендовать данную технологию для изготовления средних и крупных стержней и безопочных и традиционных форм.

Недостатком является меньшая прочность и более сложные процессы регенерации смеси. Для восстановления свойств песка при регенерации необходима предварительная нейтрализация его щелочности и последующая термическая регенерация при температуре 700 °С.

Другой вариант с использованием подобных связующих (щелочных полифенолятов), но с достаточно коротким циклом отверждения получил название **Бета-сет-процесс** [2]. Уплотненная смесь для отверждения в стержневом ящике продувается парами метилформиата (МФ, метиловый эфир муравьиной кислоты) в смеси с воздухом. В обычном состоянии, при температуре 20 °С, — это бесцветная малотоксичная жидкость с температурой кипения 31,5 °С.

Газ-отвердитель получают при нагреве жидкого эфира в пневмоиспарительном генераторе, где он в определенных пропорциях смешивается с потоком сжатого воздуха. Паровоздушная смесь содержит по объему 60 % МФ, остальное — воздух. Время продувки в зависимости от массы стержня составляет 10...30 с.

Для достижения оптимальной прочности и скорости полимеризации давление газовоздушной смеси не должно превышать 0,05...0,075 МПа. Длительность контакта отвердителя со связующим в микрообъемах смеси должна быть не менее 0,5 с. Реальный расход МФ составляет до 50 % на массу связующего.

Стержневые ящики желательно использовать с уплотнением по разъемам, что позволит сократить потери МФ и время продувки. После отверждения смеси также желательно дополнительно продуть стержень воздухом для удаления избытка МФ, так как в дальнейшем длительный контакт с МФ может привести к разупрочнению стержня. В рабочей зоне изготовления и отделки стержней достаточно использовать средства приточно-вытяжной вентиляции.

Расход связующего в смеси составляет 1,5... 2,5 мас. ч. на 100 мас. ч. кварцевого песка. Живучесть приготовленной смеси в среднем составляет 4 ч. Уровень прочности готовых стержней ниже по сравнению с Амин-процессом в 1,5...2,0 раза. Рекомендуется изготавливать стержни массой до 20 кг.

К достоинствам Бета-сет-процесса относят хорошее качество поверхности отливок из стали, чугуна и цветных сплавов, отсутствие в связующем азота, незначительное термическое расширение смеси, относительную влагостойкость и улучшенную выбиваемость стержней. Отмечены экономические преимущества процесса при изготовлении стержней небольшими сериями.

При изготовлении единичных средних и крупных отливок из черных и цветных сплавов применяют хорошо изученные технологии, основанные на применении ХТС на различных смолах с соответствующей термостойкостью [3].

Скорость отверждения холоднотвердеющих смесей может регулироваться соотношением связующего и катализатора. Время до момента извлечения стержня из ящика обычно принимают в пределах 10...30 мин. Время до простановки стержней в форму может составлять от более 4 до 24 ч. При выборе процесса рассматривают основные технологические и физические

свойства смесей, вопросы общей прочности стержней, поверхностной прочности, их эрозионной стойкости и выбиваемости.

Вновь перспективным стал усовершенствованный процесс изготовления стержней на основе неорганического связующего, жидкого стекла с продувкой их углекислым газом и дополнительным вакуумированием — **СО₂-вакуум-процесс**.

Процесс упрочнения смеси заключается в том, что стержневой ящик с уплотненной песчано-жидкостекольной смесью помещается в камеру вакуумирования. Воздух из камеры откачивается и пониженное давление способствует удалению влаги с образованием оболочек силикатного геля на песчинках смеси. Это первая предварительная стадия отверждения. Затем вакуум в камере заменяется на атмосферу углекислого газа. При отсутствии воздуха реакция углекислого газа с силикатом натрия проходит быстро и эффективно. Твердость смеси повышается. Это вторая конечная стадия отверждения.

Воздействие вакуума позволило за счет более эффективного процесса формирования структуры отвержденного связующего снизить его содержание в смеси в 2 раза до 2...3 %, сократить расход СО₂ от 6 до 0,3... 1 %. Кроме того, пониженное содержание жидкого стекла в смеси улучшает выбиваемость стержней и повышает живучесть и текучесть смеси. Последние параметры смесей позволяют механизировать и автоматизировать процессы изготовления стержней с достижением преимуществ процессов скоростного изготовления их на органических связующих с продувкой газами-катализаторами.

Особенно важно, что стержни, изготовленные на жидкостекольном связующем, рекомендуют применять при использовании форм из песчано-глинистых смесей, не опасаясь накопления в возвратной смеси Na₂O. Смесь хорошо регенерируется и восстановление свойств является экономически целесообразным.

Таким образом, сочетание высокой экономичности, термостойкости, эрозионной стойкости жидко-стекольных смесей с достоинствами процессов скоростного изготовления стержней позволяет рекомендовать данную технологию при производстве отливок из стали, чугуна мелкими и крупными сериями.

Отстают по скорости затвердевания и некоторым технологическим показателям ХТС на металлофосфатных связующих. Однако результаты применения стержней и форм при изготовлении отливок из стали и чугуна и экономические характеристики процесса позволяют данной технологии конкурировать с процессами ХТС на смолах.

В настоящее время распространены технологии изготовления стержней на неорганической основе с использованием ХТС на алюмохромфосфатных, алюмомагнийфосфатных и алюмоборфосфатных связующих. Различные типы отвердителей позволяют управлять скоростью отверждения смесей в пределах, необходимых при изготовлении мелкосерийного среднего и крупного литья.

Время до извлечения стержня в зависимости от его массы может составлять 20...40 мин. Время полного отверждения до 24 ч. Живучесть смесей обычно

составляет 3...5 мин. Конечная прочность стержней зависит в основном от кинетики отверждения. При избытке отвердителя скорость набора прочности будет выше, но конечный продукт полимеризации будет хрупким, следовательно, стержень будет иметь низкую поверхностную прочность (будет осыпаться). Это объясняется образованием более напряженных структур полимера.

Практика применения металлофосфатных связующих подтвердила, что общий уровень прочностных свойств составляет 0,10...0,12 МПа при растяжении, а высокая термостойкость и податливость, низкая деформативная и газотворная способность стержней и форм позволяют получать по данной технологии отливки высокого качества независимо от массы и толщины стенок.

Недостатком данной технологии является низкая текучесть смесей, что требует дополнительных усилий при заполнении сложных стержневых ящиков. Улучшение свойств достигается изменением состава смеси. По экологическим показателям данная технология сравнима с технологическими процессами изготовления стержней и форм с применением жидкого стекла.

Песчаные формы и стержни можно готовить *методом быстрого прототипирования* по аналогии с известным способом получения реальной модели (прототипа). Модель в этом случае создается послойным наращиванием материала независимо от сложности модели. Процессы построения автоматизированы и позволяют получать готовое изделие, затрачивая считанные часы, а не недели.

На изготовление экспериментальных чугунных отливок по данной технологии было затрачено 4—5 дней, включая разработку документации [4]. Основная цель достигнута за счет сокращения сроков технологической подготовки производства (исключения материальных затрат и времени на изготовление отливок) и самого цикла производства, что способствовало быстрому переходу предприятия к выпуску конкурентоспособной продукции. Таким образом, наиболее конкурентоспособными и эффективными для получения стержней являются процессы, позволяющие изготавливать стержни за наиболее короткое время. Короткий цикл отверждения дает возможность сократить сроки производства, площади под хранение стержней и синхронизировать работу автоматической формовочной линии и стержневого участка.

С точки зрения экологичности процессов необходимо продолжать работы в направлении развития технологий получения стержней на неорганических связующих материалах и совершенствования этих технологий по скорости отверждения и другим технологическим показателям. Наиболее приемлемы процессы на неорганических связующих с продувкой CO_2 или другими нейтральными газами взамен токсичных газов-отвердителей.