

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Набережночелнинский институт (филиал)
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный
университет»

Кафедра машиностроения

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ЗАГОТОВОК В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Учебное пособие

**Набережные Челны
2019**

УДК 669.018.28(075.8)

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета
Набережночелнинского института
Казанского (Приволжского) федерального университета*

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор **М.С. Колесников;**

кандидат технических наук **Р.Д. Фарисов**

Харисов Л.Р.

Специальные способы формообразования заготовок в машиностроении:
учеб. пособие. - Набережные Челны: Изд.-полигр.центр Набережночелнинского
института К(П)ФУ, 2019. - 30 с.

©Набережночелнинский институт К(П)ФУ, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Существует многочисленные разнообразные специальные виды литья, обладающие характерными признаками, отличными от обычной традиционной технологии литья в песчано-глинистые формы.

Первая группа – литье в разовые неразъемные литейные формы из дисперсных материалов с сохранением гравитационного метода заполнения формы сверху из ковша через литниковую систему, как в традиционном способе.

Отличительной особенностью этих методов является использование разовой модели, которую для удаления из неразъемной формы разрушают каким-либо способом до заполнения формы расплавом или даже в процессе заполнения формы. В эту группу входят методы литья по выплавляемым, выжигаемым, растворимым и газифицируемым моделям. Наиболее распространенным в настоящее время в этой группе является литье по выплавляемым моделям, а новым и развивающимся процессом – литье с использованием моделей из фотополимерных материалов.

Вторая группа – литье в полупостоянные или постоянные разъемные формы с сохранением гравитационного метода заполнения формы сверху из ковша через литниковую систему.

Общим признаком этих методов является использование разборной литейной формы, состоящей из полупостоянных или постоянных и разовых элементов. Конструкция формы должна позволять извлекать из нее отливку без повреждения многократно используемых элементов формы. Основным методом в данной группе – литье в кокиль. Известен также метод литья в углеродные (графитовые) формы. Для многократно используемых элементов литейной формы могут, видимо, применяться и другие материалы.

Характерным признаком третьей группы методов является наличие дополнительного воздействия на расплав при заполнении формы и затвердевании отливок. Тип и конструкция литейной формы при этом определяются требова-

ниями к отливкам и способами воздействия на расплав и кристаллизующиеся отливки. В числе этих способов следующие:

а) запрессовка металла в форму с высокими скоростями поршневой системой – литье под давлением. Этот способ предусматривает применение лишь металлических разъемных литейных форм (пресс-форм), не исключается применение стержней и формообразующих вставок из дисперсных огнеупорных материалов;

б) способы литья при регулируемом, относительно невысоком газовом давлении – литье под низким давлением, с противодавлением, вакуумным всасыванием и др. В этих способах можно использовать разъемные и неразъемные литейные формы из любых материалов, обладающих достаточными огнеупорностью и прочностью;

в) центробежное литье фасонных отливок также связано с возможностью использования разнообразных известных конструкций литейных форм. Однако при центробежном литье тел вращения (труб, втулок, гильз и др.) обычно применяются формы специальной конструкции – изложницы;

г) к способам, основанным на других принципах заполнения форм, относятся литье выжиманием, литье погружением форм в расплав и др.

Воздействия на заливаемый в форму расплав, отмеченные в пунктах а), б), в) и г), продолжаются и после заполнения формы. Это способствует определенному повышению плотности отливок и улучшению качества их поверхности.

Аналогично можно выделить методы, в которых наиболее значимо воздействие на расплав в период кристаллизации. Их используют для получения особо плотных отливок и отливок со специальной микроструктурой.

Четвертая группа – литье под всесторонним газовым давлением (автоклавное литье) с использованием литейных форм из различных материалов; литье с кристаллизацией под давлением (жидкая штамповка), в котором чаще всего используют металлические формы.

Пятая группа – способы литья, использующие воздействие на расплав, оказывающее существенное влияние на формирование микроструктуры отливок. К их числу относятся методы с использованием электрического и электромагнитного воздействия на расплав до, во время или после поступления расплава в форму, обработка его ультразвуком и др.

Шестую группу образуют методы, основанные на формировании свойств отливок при непрерывных и полунепрерывных процессах литья. К этим процессам можно отнести: непрерывное литье с использованием стационарных и подвижных кристаллизаторов; литье вытягиванием из расплава и полунепрерывное литье, используемые для получения отливок постоянного профиля по длине; электрошлаковое литье, литье с последовательным заполнением; литье намораживанием и др. для получения фасонных отливок.

Седьмая группа – методы получения отливок с различными специальными свойствами, к которым можно отнести: армирование отливок, изготовление отливок из композиционных материалов и пр.

В производстве литых заготовок специальные виды литья занимают значительное место. В настоящее время 80% общего объема производства отливок (в тоннах) получают обычным методом литья в песчаную форму и только 20% «специальными» методами. Однако эти данные далеко не точно характеризуют объем производства отливок с использованием специальных видов литья. Методами специального литья изготавливают не крупные отливки из черных металлов и подавляющее большинство, более легких отливок из цветных сплавов. Поэтому по числу получаемых отливок специальные методы не уступают обычному методу литья в песчаные формы.

ЛИТЬЁ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Это процесс, в котором для получения отливки применяются разовые точные неразъемные керамические оболочковые формы, полученные по разовым моделям с использованием жидких формовочных смесей. Перед заливкой расплава модель удаляется из формы выплавлением, выжиганием, растворением или испарением. Для удаления остатков модели и упрочнения формы ее нагревают до высоких температур. Прокалкой формы перед заливкой достигается практически полное исключение ее газотворности, улучшается заполняемость формы расплавом.

На рисунке 1 показаны основные операции технологического процесса, где а – запрессовка модельного состава в пресс-форму; б – сборка блока; в – нанесение на блок суспензии; г – посыпка огнеупорным зернистым материалом; д – сушка; е – удаление модели; ж – засыпка опорным материалом; з – прокалка в печи; и – заливка формы расплавом; 1 – пресс-форма; 2 – модель; 3 – блок моделей отливок и литниковой системы; 4 – слой суспензии; 5 – огнеупорный зернистый материал; 6 – пары аммиака; 7 – горячая вода; 8 – опорный материал; 9 – печь; 10 – прокаленная форма; Q – подвод теплоты.

Модель или звено моделей 2 изготавливают в разъемной пресс-форме 1, рабочая полость которой имеет конфигурацию и размеры отливки с припусками на усадку модельного состава и материала отливки, а также обработку резанием (рисунок 1, а). Модель изготавливают из материалов, либо имеющих невысокую температуру плавления (воск, стеарин, парафин), либо способных растворяться (карбамид) или сгорать без образования твердых остатков (полистирол). Готовые модели или звенья моделей собирают в блоки 3 (рисунок 1, б), имеющие модели элементов литниковой системы из того же материала, что и модель отливки. Блок моделей состоит из звеньев, центральная часть которых образует модели питателей и стояка. Модели чаши и нижней части стояка изготавливают отдельно и устанавливают в блок при его сборке.

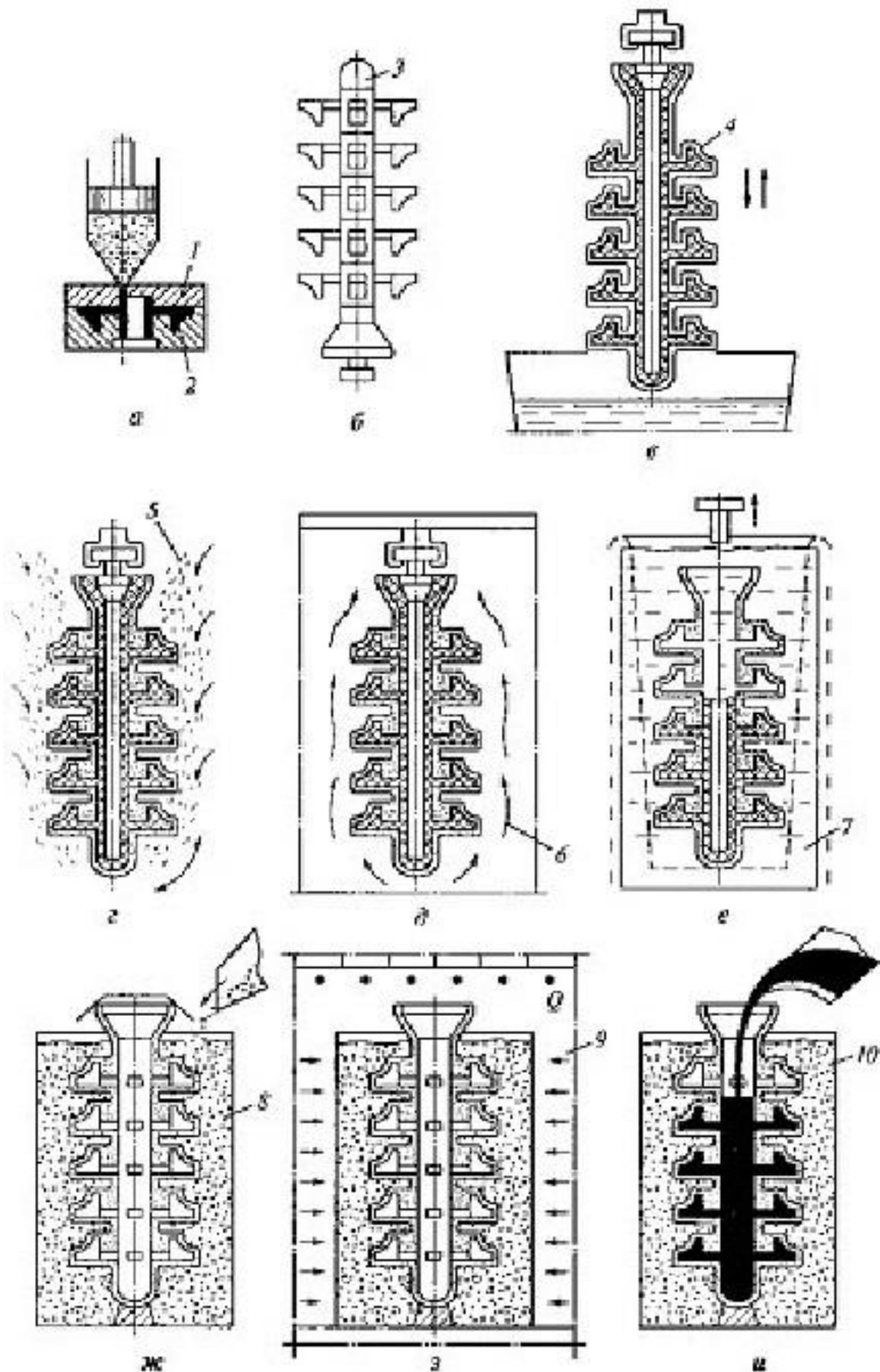


Рис. 1. Основные операции технологического процесса ЛВМ

Для получения оболочковых форм полученный блок моделей погружают в емкость с жидкой формовочной смесью – суспензией, состоящей из пылевидного огнеупорного материала, например, пылевидного кварца или электрокорунда и связующего (рисунок 1, в). В результате на поверхности модели образуется слой суспензии 4 толщиной менее 1 мм. Для упрочнения этого слоя и увеличения его толщины на него наносят слои огнеупорного зернистого материала 5 (мелкий кварцевый песок, электрокорунд, зернистый шамот) (рисунок 1, г). Операции нанесения суспензии и обсыпки повторяют до получения на модели оболочки требуемой толщины (3-10 слоев). При этом каждый слой покрытия высушивают на воздухе или в парах аммиака 6, что зависит от связующего (рисунок 1, д). После сушки оболочковой формы модель удаляют из нее выплавлением в горячей воде 7 при температуре менее 100°С получают многослойную оболочковую форму (рисунок 1, е). С целью упрочнения формы перед заливкой ее помещают в металлический контейнер и засыпают огнеупорным материалом 8 (кварцевым песком, мелким боем использованных оболочковых форм) (рисунок 1, ж).

Для удаления остатков моделей из формы и упрочнения связующего контейнер с оболочковой формой помещают в печь 9 для прокаливания (рисунок 1, з). Прокалку формы ведут при температуре 900-1100°С, далее прокаленную форму 10 извлекают из печи и заливают расплавом (рисунок 1, и). После затвердевания и охлаждения отливки до заданной температуры форму выбивают, отливки очищают от остатков керамики и отрезают от них литники. Во многих случаях оболочки прокаливают в печи до засыпки огнеупорным материалом, а затем для упрочнения их засыпают предварительно нагретым огнеупорным материалом. Это позволяет уменьшить продолжительность прокаливания формы перед заливкой и сократить энергозатраты. Так, например, организован технологический процесс на автоматических линиях для массового производства отливок.

Малая шероховатость поверхности формы при достаточно высокой огнеупорности и химической инертности материала позволяет получать отливки с поверхностью высокого качества. После очистки от остатков оболочковой формы шероховатость поверхности отливок составляет от $Rz=20$ мкм до $Ra=1,25$ мкм.

Отсутствие разъема формы, использование для изготовления моделей материалов, позволяющих не разбирать форму для их удаления, высокая огнеупорность материалов формы, а также нагрев ее до высоких температур перед заливкой способствуют улучшению заполняемости, дает возможность получать отливки сложнейшей конфигурации, максимально приближенной или соответствующей конфигурации готовой детали, из практически всех известных сплавов. Достижимый коэффициент точности отливок по массе ($KTM = 0,85-0,95$) способствует резкому сокращению объемов обработки резанием и отходов металла в стружку. Точность отливок может соответствовать классам точности от 2 до 5, припуски на обработку резанием для отливок размером до 50 мм обычно не превышают 1 мм, а для отливок размером до 500 мм – около 3 мм. Поэтому литье по выплавляемым моделям относится к прогрессивным материало- и трудосберегающим технологическим процессам обработки металлов.

Преимущества способа ЛВМ:

1) возможность изготовления из практически любых сплавов отливок сложной конфигурации, тонкостенных, с малой шероховатостью поверхности, высоким коэффициентом точности по массе, минимальными припусками на обработку резанием, с резким сокращением отходов металла в стружку;

2) возможность создания сложных конструкций, объединяющих несколько деталей в один узел, что упрощает технологию изготовления машин и приборов;

3) возможность экономически выгодного осуществления процесса в единичном (опытном) и серийном производствах, что важно при создании новых машин и приборов;

4) уменьшение расхода формовочных материалов для изготовления отливок, снижение материалоемкости производства;

5) улучшение условий труда и уменьшение вредного воздействия литейного процесса на окружающую среду.

Наряду с преимуществами данный способ обладает и следующими недостатками:

1) процесс изготовления литейной формы является многооперационным, трудоемким и длительным;

2) большое число технологических факторов, влияющих на качество формы и отливки, и соответственно связанная с этим сложность управления их качеством;

3) большая номенклатура материалов, используемых для получения формы (материалы для моделей, суспензии, обсыпки блоков, опорные материалы);

4) сложность манипуляторных операций изготовления моделей и форм, сложность автоматизации этих операций;

5) повышенный расход металла на литники и поэтому невысокий технологический выход годного (ТВГ).

Указанные преимущества и недостатки определяют эффективную область использования литья в оболочковые формы по выплавляемым моделям, а именно:

1) изготовление отливок, максимально приближающихся по конфигурации к готовой детали, с целью снизить трудоемкость обработки труднообрабатываемых металлов и сплавов резанием, сократить использование обработки давлением труднодеформируемых металлов и сплавов, заменить трудоемкие операции сварки или пайки для повышения жесткости, герметичности, надежности конструкций деталей и узлов;

2) изготовление тонкостенных крупногабаритных отливок повышенной точности с целью уменьшить массу конструкции при повышении ее прочности, герметичности и других эксплуатационных свойств;

3) изготовление отливок повышенной точности из сплавов с особыми свойствами и структурой.

Использование литья в оболочковые формы для получения заготовок деталей машин взамен изготовления их из кованных заготовок или проката приводит к значительному снижению отходов металла в стружку. При этом трудоемкость обработки резанием уменьшается до 50%, уменьшается себестоимость изготовления деталей. Однако следует учитывать, что экономическая эффективность существенно зависит от выбора номенклатуры отливок, изготавливаемых этим способом. Только при правильном выборе номенклатуры деталей достигается высокая экономическая эффективность данного производства.

Для получения моделей используют различные модельные составы: выплавляемые, растворяемые, выжигаемые. Любой модельный состав должен удовлетворять определенным требованиям. В расплавленном состоянии модельный состав должен обладать хорошей жидкотекучестью для четкого воспроизведения конфигурации модели при заполнении полости пресс-формы и легкого и полного удаления из оболочковой формы. Температура плавления модельного состава должна быть невысокой (60-140°C), что облегчает изготовление моделей и их удаление из оболочковой формы. Температура размягчения модельного состава должна быть 35-45°C, т.е. превышать температуру помещений, где изготавливают и хранят модели, а также собирают их в блоки. Усадка состава при охлаждении и его расширение при нагреве должны быть минимальными и стабильными, чтобы точность моделей, а соответственно, и отливок была высокой. Модельный состав не должен прилипать к поверхности пресс-формы; химическое взаимодействие его с материалом пресс-формы недопустимо. После затвердевания в пресс-форме модельный состав должен обладать прочностью и твердостью, достаточными для того, чтобы модели не деформировались и не ломались на последующих операциях технологического процесса.

Модельный состав должен обеспечивать соединение частей моделей либо сборку в блоки пайкой или склеиванием. Модельный состав должен смачиваться суспензией, но не растворяться в составляющих суспензии для оболочковых форм, не вступать с ними в химическое взаимодействие, иначе будет ухудшаться качество поверхности отливок. Зольность (твердый остаток) состава при нагреве оболочковых форм в процессе прокаливания должна быть минимальной. Плотность состава также должна быть минимальной, что облегчает работу с моделями, блоками моделей, особенно в случае больших их размеров. Так как модельный состав должен быть выплавлен в горячей воде и без лишних трудовых затрат возвращен в производство моделей, его плотность должна быть ниже плотности воды (1000 кг/м^3). Свойства модельного состава не должны изменяться перед повторным использованием, т. е. он должен быть пригодным для многократного использования. Кроме того, модельный состав должен быть безвредным для жизни людей и для окружающей среды на всех этапах технологического процесса, не должен содержать дефицитных компонентов, а технологии его приготовления и изготовления из него моделей должны быть простыми.

Для приготовления модельных составов наибольшее применение в производстве нашли следующие исходные материалы.

Парафин – смесь углеводородов предельного ряда (алканов) с общей формулой химического состава $\text{C}_n\text{H}_{(2n+2)}$. Парафин получают при возгонке нефти, бурого угля, сланцев. По внешнему виду это белая масса с кристаллической структурой. Парафин пластичен, недорог, недефицитен. Температура размягчения парафина близка к 30°C .

Стеарин – смесь жирных кислот. Стеарин является продуктом переработки растительных и животных жиров. Это дорогой и дефицитный материал, который склонен к взаимодействию с формовочными материалами.

Церезин – смесь углеводородов метанового ряда. Его получают переработкой озокерита из нефтяных церезиновых отложений на стыках нефтепроводов, а также путем реакции соединения CO и H_2 с последующей поликонденса-

цией. Это аморфный материал светло-желтого цвета, так называемый «горный воск». В соответствии с температурой каплепадения церезин маркируют как натуральный – марок 65 (температура каплепадения 65-70°C), 70, 75, 80 и синтетический – марок 90, 93, 100. Он обладает повышенной пластичностью и теплостойкостью, но имеет высокую линейную усадку (до 1,1%), невысокие прочность и твердость. Для изготовления модельных составов чаще применяют более тугоплавкий синтетический церезин.

Буроугольный воск – продукт переработки бурого угля, смесь воска, смолы и асфальтоподобных веществ. Это однородный материал темно-бурого цвета, с температурой каплепадения около 90°C, обладает высокими прочностью и твердостью, но хрупкий, в жидком состоянии имеет высокую вязкость.

Канифоль – твердая составляющая смолы хвойных деревьев, представляющая собой смесь смоляных кислот. Это хрупкое стекловидное вещество желтого или коричневого цвета, имеет плотность 1000-1200 кг/м³. Канифоль размягчается в интервале температур 52-70°C.

Полистирол блочный – термопластичный материал, получаемый полимеризацией стирола (C₂H₅–CH–CH₂). Для изготовления модельных составов применяют блочный полистирол с низкой зольностью (около 0,04%). Плотность полистирола 1050 кг/м³, теплостойкость 70-80°C, усадка 0,2...0,8%. Полистирол – водостойкий материал, не растворяется в кислотах и щелочах, спиртах и бензине, растворим в эфирах и ароматических углеводородах, обладает высокой прочностью.

Полистирол вспенивающийся – бесцветные гранулы, содержащие основу – полистирол и порообразователь – изопентановую фракцию с температурой кипения 30-40°C. При нагреве до температур 80-100°C полистирольная основа гранул размягчается, а порообразователь испаряется, и его пары изнутри оказывают давление на стенки гранул. В результате этого гранулы увеличиваются в объеме, а их плотность уменьшается до 30 кг/м³. Этот материал используют для изготовления выжигаемых моделей.

Полиэтилен – термопластичный материал, получаемый полимеризацией этилена ($\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$). Высокомолекулярный полиэтилен (молекулярная масса 35000) твердый, прочный, эластичный материал, имеющий температуру размягчения $108-115^\circ\text{C}$ и теплостойкость 90°C . Полиэтилен не взаимодействует с гидролизированным раствором этилсиликата.

Полиэтиленовый воск – низкомолекулярный полиэтилен (молекулярная масса 200-3000). Это гранулированный материал белого цвета с температурой плавления $95-105^\circ\text{C}$, который хорошо растворяется в парафине и придает модельным составам прочность.

Кубовый остаток термического крекинга парафина – смесь предельных и непредельных углеводородов с температурой размягчения 35°C , обладающая высокой пластичностью и низкой прочностью.

Карбамид $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – полный амид угольной кислоты (техническая мочеви́на) – кристаллический, хорошо растворимый в воде материал. Он плавится при $129-134^\circ\text{C}$ и обладает в расплавленном состоянии высокой жидкотекучестью, т.е. хорошо заполняет пресс-формы. После затвердевания образует прочную и точную модель. Усадка карбамида ниже $0,1\%$. При нагреве карбамид не имеет стадии размягчения, поэтому модели не деформируются вплоть до 100°C . Карбамид используют для изготовления растворяемых моделей.

Этилцеллюлоза – продукт переработки древесины, белый порошок с температурой плавления $160-180^\circ\text{C}$, хорошо растворяющийся в стеарине и церезине. Его прочность достигает $0,14 \text{ Н/мм}^2$, линейная усадка – до $1,2\%$.

Перечисленные выше модельные материалы в чистом виде для изготовления моделей отливок используются редко. Обычно с этой целью применяют модельные составы, перечисленные в таблице, которые представляют собой смеси модельных материалов в различных соотношениях.

Марки модельного состава	Содержание компонента, масс. %								Улучшающие добавки	Свойства модельного состава					Область применения
	Парафин	Царезин	Стеарин	Буроугольный воск	Канифоль	Карбамид	Полистирол	Полиэтиленовый воск		Температура каплепадения, °С	Теплоустойчивость, °С	Прочность при 50 °С, Н/мм ²	Зольность, %	Усадка расплава (усадка пасты)	
ПС50-50	50	–	50	–	–	–	–	–	–	47,5-53	30	2,4	0,03-0,1	13-1,5 (0,8-1,0)	мелкие отливки средней сложности
ПЦБКo 70-12-13-5 (P-3)	68-70	12-14	–	11-13	–	–	–	–	4-6 кубового остатка	77-80	31	3,0	0,02	1,2-1,4 (0,6-0,9)	тоже
ПБТТэ25-35-35-5 (ВИАМ-102)	25	–	–	35	–	–	–	–	торфяной воск 35, триэтаноламин 5	75-85	40	4,8	0,15	1,3-1,5 (0,8-0,9)	тоже
ПЦБПэв40-45-10-5 (К-1)	40	45	–	10	–	–	–	5	–	75-85	35	5,0	0,15	1,1-1,3 (0,7-0,8)	тоже
ПЦБПэвТэ25-35-30-5-5 (М-1)	25	35	–	30	–	–	–	5	триэтаноламин 5	80-90	43	5,0	0,1	1,3-1,9 (0,7-0,9)	тоже
ПЦПэв67-25-8 (МВС-3А)	67	25,5	–	–	–	–	–	7,5	–	75-80	40	5,0	0,02	1,3-1,5 (0,9-1,1)	мелкие, средние, крупные отливки
К50Пс30Ц20	–	20	–	–	50	–	30	–	–	140	40	7,5-8,0	0,03	1,4 (0,9)	сложные особо точные отливки
К6ПвсМс95,5-2-2,5 (МПВС-2)	–	–	–	–	–	94-96,5	–	–	поливиниловый спирт 1,5-3	110	68-73	12-17	0,10-0,15	0,2 (–)	крупные точные отливки

ЛИТЬЁ В КОКИЛЬ

Кокильное литье, или литье в постоянные формы, – это литье металла, осуществляемое свободной заливкой металлических форм. Кокиль (от фр. *coquille* – раковина, скорлупа) – металлическая форма с естественным или принудительным охлаждением, заполняемая расплавленным металлом под действием гравитационных сил.

Кокиль (рисунок 2.1) обычно состоит из двух полуформ 12, плиты 11 и вставок 7. Полуформы взаимно центрируются штырями 6, а перед заливкой их соединяют замками 13. Полости и отверстия в отливке могут быть выполнены металлическими или песчаными стержнями, извлекаемыми из отливки после ее затвердевания и охлаждения до заданной температуры. Расплав заливают в кокиль через литниковую систему 5, выполненную в его стенках, а питание массивных узлов отливки осуществляется из прибыли 2. При заполнении кокиля расплавом воздух и газы удаляются из его рабочей полости 10 через вентиляционные каналы 1, пробки 3, каналы между металлическими частями 9, образующие вентиляционную систему кокиля.

Основные элементы кокиля – полуформы, плиты, вставки, стержни и т.д. – обычно изготавливают из чугуна или стали. Выше рассмотрен кокиль простой конструкции, но в производственной практике часто используют кокили весьма сложных конфигураций.

Перед заливкой расплава новый кокиль подготавливают к работе: поверхность рабочей полости и разъем тщательно очищают от следов загрязнений, ржавчины, масла, проверяют легкость перемещения подвижных частей, точность их центрирования, надежность крепления. Затем на поверхность рабочей полости и металлических стержней наносят слой огнеупорного покрытия – облицовки и краски (рисунок 2.2, а). Состав облицовок и красок зависит в основном от типа заливаемого сплава, а их толщина – от требуемой скорости охлаждения отливки: чем толще слой огнеупорного покрытия, тем медленнее отливка охлаждается.

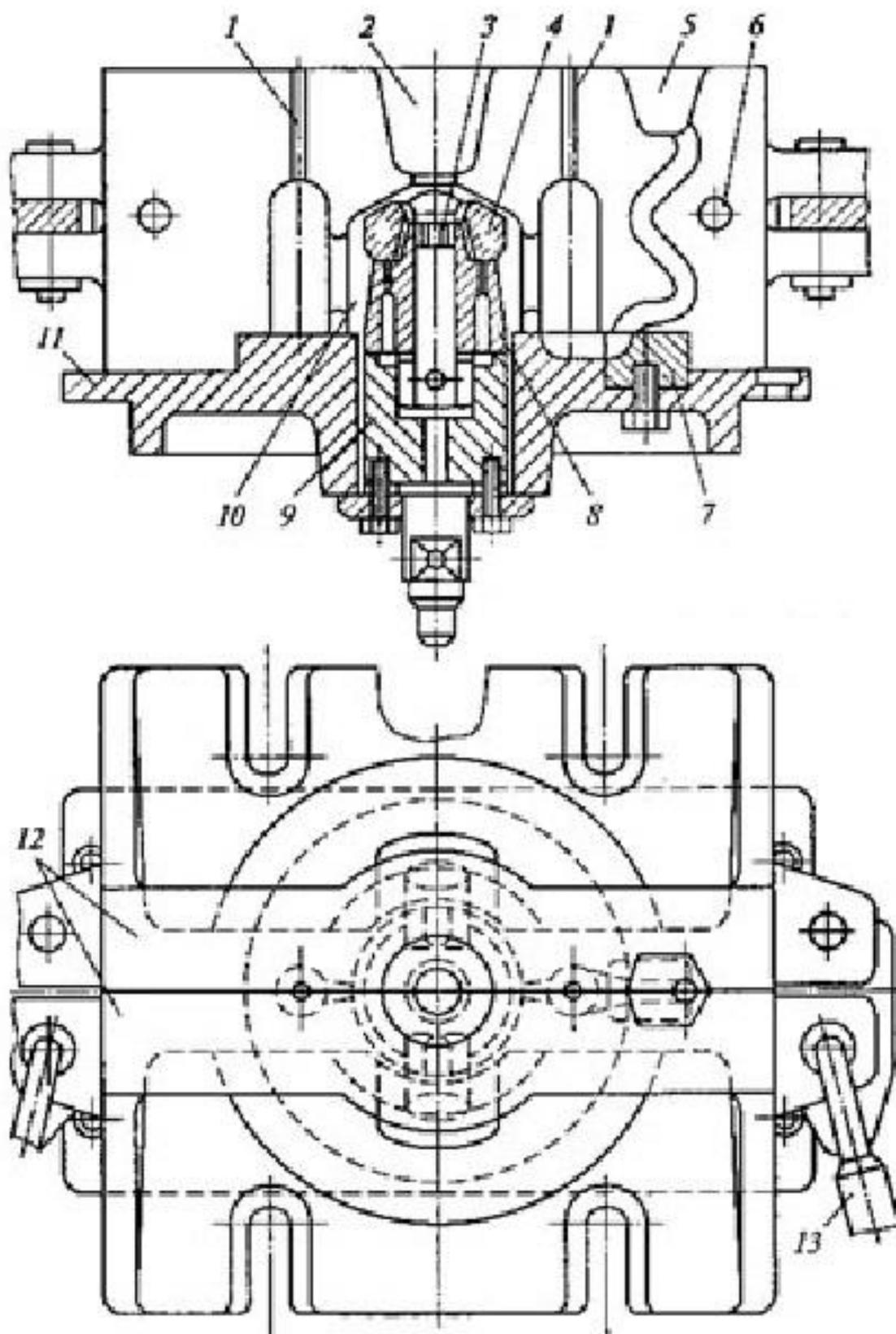


Рис. 2.1 – Кокиль:

1 – вентиляционные каналы; 2 – прибыль; 3 – вентиляционная пробка;
 4 – песчаный стержень; 5 – литниковая система; 6 – штырь (центрирующий элемент); 7 – вставка; 8 – металлический стержень; 9 – вентиляционный канал; 10 – полость формы; 11 – плита (поддон); 12 – полуформы; 13 – замок

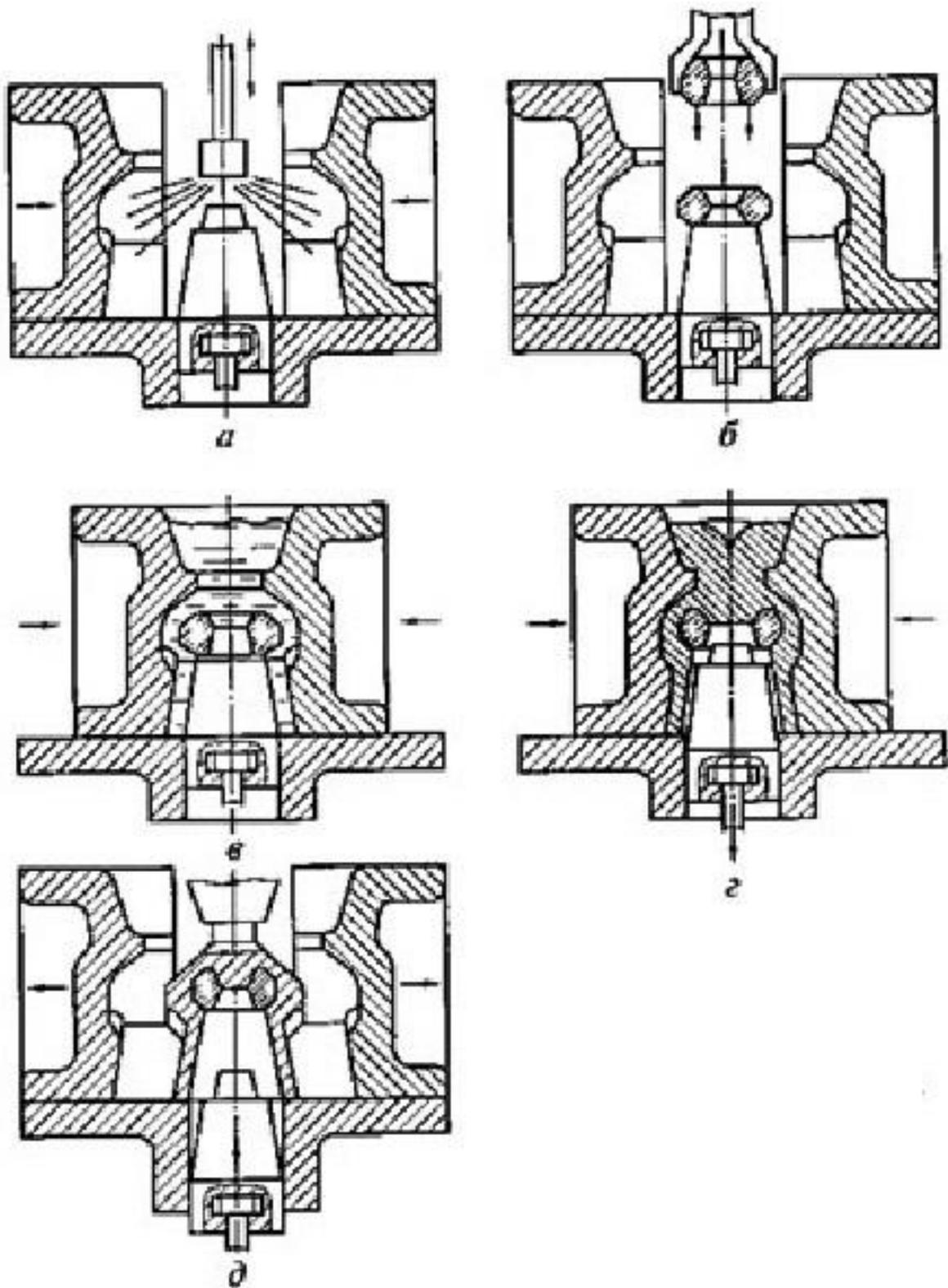


Рис.2.2. Последовательность изготовления отливки в кокиле
(стрелки – направление движения деталей кокиля):

- а – окраска кокиля;
- б – установка стержней;
- в – сборка и заливка формы;
- г – затвердевание отливки;
- д – разборка кокиля

Вместе с тем слой огнеупорного покрытия предохраняет рабочую поверхность формы от резкого повышения ее температуры при заливке, оплавления и схватывания с металлом отливки. Перед нанесением огнеупорного покрытия кокиль нагревают газовыми горелками или электрическими нагревателями до температуры 150-280°С. Краски наносят на кокиль обычно в виде водной суспензии через пульверизатор. Вода капель водной суспензии, попадающих на поверхность нагретого кокиля, испаряется, а огнеупорная составляющая ровным слоем покрывает поверхность.

После нанесения огнеупорного покрытия кокиль нагревают до рабочей температуры, зависящей в основном от состава заливаемого сплава, толщины стенки отливки, ее размеров и требуемых свойств. Затем в кокиль устанавливают песчаные или керамические стержни (рисунок 2.2, б), если таковые необходимы для получения отливки, половины кокиля соединяют (рисунок 2.2, в) и скрепляют специальными зажимами, а при установке кокиля на кокильной машине – с помощью ее механизма запираания, после чего заливают расплав в кокиль. Часто в процессе затвердевания и охлаждения отливки, после того как она приобретет достаточную прочность (рисунок 2.2, г), металлические стержни «подрывают», т.е. частично извлекают из отливки. Это делают для того, чтобы уменьшить давление затвердевающей отливки на металлический стержень и облегчить последующее извлечение его из отливки. После охлаждения отливки до заданной температуры кокиль раскрывают, полностью извлекают металлический стержень и удаляют из кокиля отливку (рисунок 2.2, д). Из отливки выбивают песчаный стержень, обрезают литники, прибыли, выпоры, контролируют качество отливки. Затем описанный выше цикл повторяется.

Перед повторением цикла осматривают рабочую поверхность кокиля, плоскость разъема. Обычно огнеупорную краску наносят на рабочую поверхность кокиля 1-2 раза в смену, изредка восстанавливая ее в местах, где она отслоилась от рабочей поверхности. Так как за время извлечения отливки и окраски рабочей поверхности кокиля он охлаждается, в частности при литье тонкостенных отливок охлаждается чрезмерно, для повторения цикла требуется по-

догрев кокиля до рабочей температуры. Если же отливка достаточно массивная, то за счет ее теплоты кокиль может нагреваться до температуры более высокой, чем требуемая рабочая. Для такого случая в кокиле предусмотрены специальные системы охлаждения, и на следующую заливку он поступает охлажденным.

Процесс литья в кокиль является малооперационным. Манипуляторные операции достаточно простые и кратковременные, а лимитирующей по продолжительности операцией является охлаждение отливки в форме до заданной температуры. Практически все операции могут быть выполнены механизмами машины или автоматической установки, что относится к существенным преимуществам способа. Самым важным является то, что исключается трудоемкий и материалоемкий процесс изготовления разовой формы – кокиль используется многократно.

Металлическая форма по сравнению с песчаной обладает значительно большими теплопроводностью, теплоемкостью, прочностью, практически нулевыми газопроницаемостью и газотворностью. Этими свойствами материала кокиля обусловлены особенности его взаимодействия с металлом отливки:

1. Высокая эффективность теплового взаимодействия отливки и формы: расплав и затвердевшая отливка охлаждаются в кокиле быстрее, чем в песчаной форме, т.е. при одинаковых гидростатическом напоре и температуре заливаемого расплава заполняемость кокиля обычно хуже, чем песчаной формы. Это осложняет получение в кокилях отливок из сплавов с пониженной жидкотекучестью и ограничивает минимальную толщину стенок и размеры отливок. Вместе с тем повышенная скорость охлаждения способствует получению плотных отливок с мелкозернистой структурой, что повышает прочность и пластичность металла отливок. Однако в отливках из чугуна, получаемых в кокилях, вследствие особенностей кристаллизации часто образуются карбиды, ферритографитная эвтектика, отрицательно влияющие на свойства чугуна, так как снижают показатели ударной вязкости и износостойкости. Резко возрастающая твердость в отбеленном поверхностном слое затрудняет обработку резанием

таких отливок и приводит к необходимости подвергать их термической обработке (отжигу) для устранения отбела.

2. Кокиль практически неподатлив и более интенсивно препятствует усадке отливки, что затрудняет извлечение ее из формы и может вызвать появление внутренних напряжений, коробления отливки и трещин в ней. В то же время неподатливая форма не деформируется по причине увеличения объема некоторых расплавов при кристаллизации из-за предвсудачного расширения, например, в результате выделения графита в чугуна. В этом случае уменьшается опасность формирования усадочной пористости при затвердевании отливки. При литье в кокиль отсутствуют погрешности, вызываемые упругими и остаточными деформациями песчаной формы, снижающими точность ее рабочей полости и соответственно отливки.

3. Физико-химическое взаимодействие металла отливки и кокиля минимально, что определяет высокое качество поверхности отливки. Отливки в кокиль не имеют пригара. Шероховатость поверхности отливок зависит от состава облицовок и красок, наносимых на поверхность рабочей полости формы, и соответствует $R_z = 40-10$ мкм, но может быть и меньше.

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

Преимущества литья в кокиль в сравнении с литьем в песчаные формы:

1. Повышение качества отливки и стабильности показателей качества, в частности: механических свойств, структуры, плотности, шероховатости, точности размеров отливок.

2. Использование в металлических формах разовых песчаных стержней. Это существенно расширяет возможности способа при производстве фасонных отливок со сложными внешними и внутренними поверхностями.

3. Повышение производительности труда в результате исключения трудоемких операций приготовления смеси, формовки и очистки отливок. Поэтому использование литья в кокили, по данным различных предприятий, позволяет в 2-3 раза повысить производительность труда в литейном цехе, снизить капитальные затраты при строительстве новых цехов и реконструкции существующих за счет сокращения требуемых производственных площадей, расходов на оборудование и очистные сооружения.

4. Устранение тяжелых и вредных операций выбивки форм, очистки отливок от пригара, их обрубки, общее оздоровление и улучшение условий труда, меньшее загрязнение окружающей среды.

5. Возможность механизации и автоматизации процесса изготовления отливки благодаря многократному использованию кокиля. При литье в кокиль устраняется процесс изготовления литейной формы, остаются лишь сборочные операции: установка стержней, соединение частей кокиля и их крепление перед заливкой, которые легко автоматизируются. Устраняются также такие возмущающие факторы, влияющие на качество отливок при литье в песчаные формы, как влажность, прочность, газопроницаемость формовочной смеси, т.е. процесс литья в кокиль является более управляемым. Для получения отливок заданного качества в кокильном производстве легче осуществить автоматическое регулирование технологических параметров процесса. Автоматизация процесса позволяет изменить характер труда литейщика-оператора, управляющего работой таких комплексов.

Однако способ литья в кокили имеет и недостатки, в числе которых следующие:

1. Высокая стоимость кокиля, сложность и трудоемкость его изготовления. Стоимость кокиля возрастает при получении отливок с поднутрениями, для выполнения которых необходимо усложнять конструкцию формы – делать дополнительные разъемы, использовать вставки, разъемные металлические или песчаные стержни.

2. Ограниченная стойкость кокиля, измеряемая числом годных отливок, которые можно получить в данном кокиле. От стойкости кокиля зависит экономическая эффективность процесса, особенно при литье чугуна и стали.

3. Высокая интенсивность охлаждения расплава в кокиле в сравнении с песчаной формой. Данный фактор ограничивает возможность получения тонкостенных протяженных отливок, а в чугунных отливках дополнительно приводит к отбелу поверхностного слоя, ухудшающему обработку резанием; вызывает необходимость термической обработки отливок.

4. Неподатливость кокиля, которая приводит к появлению в отливках напряжений, а иногда и трещин.

5. Использование в кокиле большого числа песчаных стержней. Этот фактор снижает точность получаемых отливок и повышает в этих местах шероховатость их поверхности.

Преимущества и недостатки кокильного способа определяют в итоге рациональную область его использования. Вследствие высокой стоимости кокилей экономически целесообразно применять этот способ литья только в серийном или массовом производстве.

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

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

Материалы для кокилей.

В процессе эксплуатации в кокиле возникают значительные термические напряжения как результат чередующихся резких нагревов при заливке, а также

при затвердевании отливки и охлаждений при раскрытии кокиля и извлечении отливки, нанесении на рабочую поверхность огнеупорного покрытия. Кроме знакопеременных термических напряжений под действием переменных температур в материале кокиля могут протекать структурные изменения и химические процессы. Поэтому материалы, предназначенные для изготовления кокиля, особенно его частей, непосредственно соприкасающихся с расплавом, должны хорошо противостоять термической усталости, иметь высокие механические свойства и претерпевать минимальные структурные превращения при температурах эксплуатации, обладать повышенной ростоустойчивостью и окислительной стойкостью, характеризоваться минимальной диффузией отдельных элементов при циклическом воздействии температур, хорошо обрабатываться, быть недефицитными и недорогими.

Производственный опыт показывает, что для изготовления рабочих стенок кокилей пригодны следующие материалы, в достаточно полной мере соответствующие указанным требованиям:

- чугуны СЧ20, СЧ25 и др. – кокили для мелких и средних отливок из алюминиевых, магниевых, медных сплавов, чугуна, а также кокили с воздушным и водовоздушным охлаждением;
- чугуны ВЧ40, ВЧ45 и др. – кокили для мелких, средних и крупных отливок из чугунов: серого, высокопрочного, ковкого, кокили с воздушным и водовоздушным охлаждением;
- стали 10, 20, Ст3, стали 15Л, 15ХМЛ и др. – кокили для мелких, средних, крупных и особо крупных отливок из чугуна, стали, алюминиевых, магниевых, медных сплавов;
- медь и ее сплавы, легированные стали и сплавы с особыми свойствами – вставки для интенсивного охлаждения отдельных частей отливок, тонкостенные водоохлаждаемые кокили, массивные металлические стержни для отливок из разных сплавов;
- силумины – водоохлаждаемые кокили с анодированной поверхностью для мелких отливок из алюминиевых и медных сплавов.

Наиболее широко для изготовления кокилей применяют серый и высокопрочный чугуны, так как эти материалы в достаточной мере удовлетворяют основным технологическим требованиям и сравнительно дешевы. Эти чугуны должны иметь феррито-перлитную структуру. Графит в серых чугунах должен иметь форму мелких изолированных включений. В этих чугунах не допускается присутствие свободного цементита, так как при нагревах кокиля произойдет распад цементита с изменением объема материала, в результате в кокиле возникнут внутренние напряжения, способствующие короблению, образованию сетки разгара, снижению его стойкости. В состав чугунов для кокилей с целью повышения их стойкости вводят до 1% никеля, меди, хрома, а содержание вредных примесей (серы и фосфора) в них должно быть минимальным. Например, для изготовления кокилей с высокой теплонагруженностью рекомендуется серый чугун следующего химического состава, мас. %: 3,0 – 3,2 С, 1,3 – 1,5 Si, 0,6 – 0,8 Mn, 0,7 – 0,9 Cu, 0,3 – 0,7 Ni, 0,08 – 0,1 Ti, не более 0,12 S, не более 0,1 P.

Для изготовления кокилей широко используют также низкоуглеродистые стали марок 10, 20, а также стали, легированные хромом и молибденом, например, сталь марки 15ХМЛ. Эти материалы обладают высокой пластичностью, поэтому хорошо сопротивляются растрескиванию при эксплуатации.

Кокили для мелких отливок из алюминиевых сплавов иногда изготавливают также из алюминиевых сплавов (АК7ч и АК7Ц9). Такие кокили анодируют, в результате чего на их рабочей поверхности образуется тугоплавкая износостойкая пленка оксида алюминия толщиной до 0,4 мм, температура плавления которой составляет около 2000°С. Высокая теплопроводность стенок кокиля из алюминия способствует быстрому отводу теплоты от отливки. Эти кокили обычно делают водоохлаждаемыми.

Медь также часто используют для изготовления рабочих стенок водоохлаждаемых кокилей. Из меди делают отдельные вставки, вкладывая в местах, где необходимо ускорить отвод тепла от отливки и тем самым управлять процессом ее затвердевания.

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

Стойкость кокилей и пути ее повышения. Данный показатель измеряется числом отливок требуемого качества, полученных в данном кокиле до выхода его из строя. Приблизительная стойкость кокилей приведена в таблице 2.

Таблица 2.

Приблизительная стойкость кокилей

Заливаемый сплав	Размер отливки	Материал кокиля	Стойкость кокиля, число отливок
Сталь	Мелкие Средние Крупные Очень крупные	Чугун	400-600
			100-300
			50-100
			10-50
Чугун	Мелкие Средние Крупные	Чугун	1000-8000
			1000-3000
			200-1000
Чугун	Крупные	Сталь 15Л	400-1000
			Мелкие Средние
Медные	Мелкие Средние	Чугун	
			Мелкие Средние
Медные	Мелкие Средние	Сталь	
			Мелкие Средние
Медные	Мелкие Средние	Сталь	
			Алюминиевые, магниевые, цинковые
Десятки тысяч			
Алюминиевые, магниевые, цинковые	Мелкие Средние Крупные	Чугун	Несколько тысяч

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы технологии литейного производства. Плавка, заливка металла, кокильное литье / Некрасов Г.Б., Одарченко И.Б. - Мн.:Вышэйшая школа, 2013. - 223 с.
2. Матвеев И. В. Оборудование литейных цехов [Текст] : учебное пособие / И.В. Матвеев ; Моск. гос. индустр. ун-т . Москва : МГИУ, 2010 . Ч. 1 . 348 с.
3. Литье титановых сплавов: Учебное пособие / Е.Л. Бибииков, А.А. Ильин. - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 304 с.
4. Матвеев И. В. Оборудование литейных цехов [Текст] : учебное пособие / И.В. Матвеев. Москва : МГИУ, 2009 . Ч. 2 . 308 с.
5. Структурообразование литейных алюминиевых сплавов при литье под низким давлением / Богданова Т.А., Довженко Н.Н., Гильманшина Т.Р. - Краснояр.: СФУ, 2015. - 164 с.
6. Технологическое оборудование машиностроительных предприятий: Учебное пособие / Сергель Н.Н. - М.:НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2013. - 732 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Литье по выплавляемым моделям	6
Литье в кокиль	16
Список использованной литературы	28
Содержание	29