

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

В. Н. Эктова

ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по одноименному курсу для студентов
специальности 1-36 02 01 «Машины и технология
литейного производства» дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2008

УДК 621.74(075.8)
ББК 34.61я73
Э42

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 1 от 14.11.2005 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Обработка материалов давлением»
ГГТУ им. П. О. Сухого *Н. И. Стрикель*

Эктова, В. Н.
Э42 Формовочные материалы : лаб. практикум по одноим. курсу для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства» днев. формы обучения / В. Н. Эктова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 34 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-682-0.

Изложены физико-химические основы построения формовочных материалов, представлены процессы смесеприготовления и формирования свойств смесей, рассмотрена методика проведения лабораторных работ.

Для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства» дневной формы обучения.

**УДК 621.74(075.8)
ББК 34.61я73**

ISBN 978-985-420-682-0

© Эктова В. Н., 2008
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2008

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК В РАЗОВЫХ ФОРМАХ

1.1. Функциональное назначение литейной формы. Основные понятия о процессе производства отливок в разовых формах

Для производства отливок необходимы литейная форма и жидкий сплав. *Литейная форма* – это система элементов, образующих рабочую полость, в которую заливается жидкий металл. Литейные формы могут быть разового и многократного использования. Выбор литейной формы зависит от характера производства, рода заливаемого сплава и требований, предъявляемых к отливке. Наибольшее распространение получили разовые формы вследствие возможности изготовления в них отливок любой конфигурации и размера, сравнительно невысокой стоимости оснастки и формовочных материалов, простоты изготовления формы. Разовая литейная форма обычно состоит из двух полуформ: верхней 1 и нижней 2 (рис. 1.1).

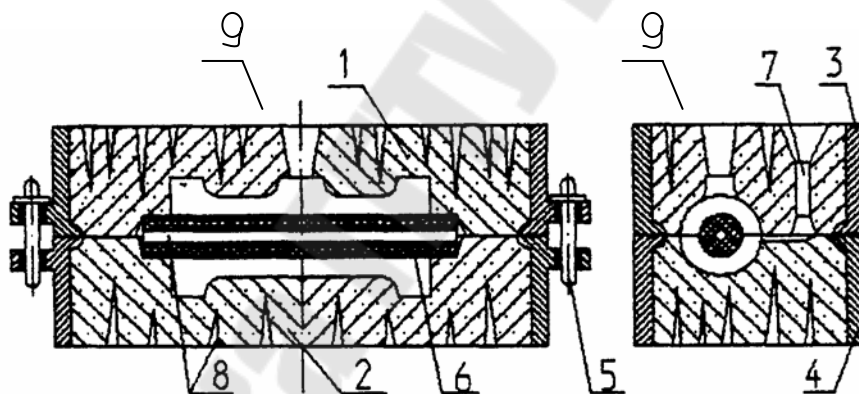


Рис. 1.1. Литейная форма

Полуформы изготавливают из формовочных смесей в опоках 3, 4, представляющих собой жесткие металлические рамы, точность положения которых фиксируется штырями 5. Внутренние полости и отверстия в отливках выполняются стержнями 6. Жидкий металл заполняет литейную форму через систему каналов 7, которая называется литниковой. Для выхода воздуха и газов из полости литейной формы служат выпоры или открытые прибыли 9. Для выхода газов из массы формовочной и стержневой смесей – вентиляционные каналы 8.

Литейные формы изготавливаются из формовочной смеси, стержни – из стержневой. Существующие технологические процессы изго-

товления форм и стержней основаны на использовании трех типов смесей: вязкопластичных, сыпучих и жидких. Формовочные и стержневые смеси состоят из наполнителя, связующего материала и специальных добавок. Смеси должны обладать комплексом заранее заданных свойств. Комплекс этих свойств и их количественные характеристики определяются следующими факторами: принятой технологией изготовления форм и стержней, условиями «работы» литейной формы на протяжении технологического процесса изготовления отливки, нормами санитарии и гигиены, экологической чистотой, экономическими предпосылками.

Литейная форма активно и разносторонне влияет на качество отливки на протяжении всего технологического цикла ее изготовления [1]. Свойства формовочных и стержневых смесей можно рассматривать как функцию времени и температуры. Технологический процесс изготовления отливки может быть условно разделен на три периода. Первый период соответствует операции приготовления смеси до изготовления форм и стержней. Основной оценкой технологичности смесей в первом периоде является живучесть, т. е. способность сохранять первоначальные свойства. Вторым периодом состоит из двух этапов: изготовление форм и стержней, сборка форм и выдержка их до момента заливки жидким металлом. Формовочные и стержневые смеси в этот период должны обладать свойствами, позволяющими изготовить формы и стержни существующими технологическими способами. Формы из вязкопластичных смесей изготавливаются уплотнением смеси вокруг модели, в результате чего она приобретает необходимую конфигурацию и прочность. Жидкие смеси заливаются в стержневой ящик или на модель. Сыпучие смеси, используемые для изготовления оболочковых форм и стержней, в исходном состоянии не обладают связанностью зерен песка. Они заполняют контур моделей под действием силы тяжести или вибрации. Силы связи в этих смесях возникают при тепловой обработке вследствие протекания необратимых химических реакций. После завершения процесса упрочнения форма не способна пластически деформироваться.

В период изготовления форм и стержней основными технологическими факторами являются пластичные свойства, которые характеризуют способность смесей воспринимать необратимые деформации при приложении определенных внешних нагрузок. Формам и стержням сообщается требуемая конфигурация – негативное отображение соответствующей оснастки. Вязкопластичные смеси представляют

собой сложный конгломерат частиц (песчинок), поверхность которых покрыта тонкими пленками связующего материала и воды. Промежутки между отдельными частицами заполнены воздухом, влагой и связующим. Воздушные поры сообщают смесям способность уплотняться, а наличие пленок воды и связующего на поверхности частиц – способность к относительному перемещению при сравнительно невысоких потерях давления на преодоление сил трения. В процессе уплотнения отдельные частицы смеси испытывают действие многообразных факторов: силы тяжести и внешнего давления, капиллярных и молекулярных сил, поверхностного натяжения воды и связующего, сил адгезии и когезии, сил трения и т. п. Работа уплотнения (внешний фактор) идет главным образом на преодоление действия перечисленных факторов.

Значимым свойством вязкопластичных смесей является их сыпучесть, которая может вызывать зависание смесей в бункерах, влияет на полноту заполнения стержневых ящиков, а также на начальную плотность смеси и возможность перемещения смеси в направлениях, не совпадающих с направлением действия внешних сил.

Для жидких смесей характеристикой, оценивающей способность заполнять соответствующую оснастку и четко воспроизводить ее отпечаток, является текучесть. Подвижность этого вида смесей при ограниченной влажности объясняется способностью поверхностно-активных веществ образовывать пену в жидкой фазе.

Смеси в результате проявления сил адгезии могут прилипать к стержневым ящикам и модельной оснастке. Для снижения взаимосвязи смеси с оснасткой применяются разделительные покрытия.

В зависимости от специфики производства выдержка литейной формы от момента изготовления до заливки ее жидким металлом может быть разной продолжительности. Формовочные смеси, будучи дисперсными материалами с относительно большой удельной поверхностью, взаимодействуют с окружающей атмосферой. В одних случаях смеси теряют влагу, в других – поглощают влагу, содержащуюся в воздухе или в контактирующем материале. Гидротермический обмен с окружающей средой вызывает изменение физико-химических свойств смесей. Гигроскопичность смесей, т. е. способность впитывать влагу из окружающей среды, ухудшает технологические свойства форм и стержней. По мере впитывания влаги из воздуха снижается поверхностная прочность форм и стержней, значительно повышается их газотворность. Особенно эффективно влага впитыва-

ется стержнями, установленными в сырые формы. В случае длительной выдержки таких форм перед заливкой возникает опасность образования газовых дефектов.

Для сохранения полученной конфигурации при сборке, транспортировке и заливке жидким металлом литейные формы и стержни должны обладать определенной прочностью. При этом следует учитывать особенности требований к материалу формы и стержня из-за различия температурных и силовых нагрузок. Стержни работают в более тяжелых условиях, так как основная их поверхность омывается жидким металлом, поэтому требования, предъявляемые к их прочностным свойствам, более жесткие. В момент извлечения модели прочность формы должна составлять 0,1 МПа, при сборке – не менее 0,5 МПа.

Второй этап (время выдержки литейной формы до заливки) должен характеризоваться дальнейшим нарастанием прочности смесей.

Следовательно, для изготовления качественной литейной формы стержневые и формовочные смеси должны обладать живучестью, пластичностью, определенной прочностью, минимальными прилипаемостью и гигроскопичностью.

Третий период технологического процесса изготовления отливки соответствует взаимодействию металла и формы. В процессе работы литейная форма вступает с отливкой во взаимодействие трех видов: тепловое, механическое (силовое), физико-химическое.

По времени и характеру протекающих процессов взаимодействия между формой и отливкой можно разделить на следующие четыре этапа:

а) взаимодействие формы с жидким металлом (снятие теплоты перегрева), продолжающееся от долей секунды до нескольких минут;

б) взаимодействие формы с твердой металлической коркой сплошного каркаса, продолжающееся от нескольких секунд до десятка минут;

в) взаимодействие формы с затвердевающей отливкой, продолжающееся от 1–2 минут до нескольких часов;

г) взаимодействие формы с полностью затвердевшей отливкой, продолжающееся от нескольких десятков минут до нескольких суток

На *первом этапе* подъем температуры поверхности формы начинается еще до установления контакта с металлом за счет излучения с поверхности его зеркала. Однако интенсивное повышение температуры на поверхности формы начинается только с момента ее сопри-

косновения с металлом. Подъем температуры в момент установления контакта распространяется на небольшую глубину; в основной толще формы сохраняется исходная температура. Лишь в массивных отливках теплообмен на первом этапе может распространиться на значительную глубину. Теплота поступает в форму за счет высокой температуры металла; интенсивность теплопередачи определяется температурой заливки, гидродинамическими характеристиками материала формы, теплофизическими характеристиками потока металла и литейной формы. Струя металла может размывать поверхность формы и переносить продукты разрушения на то или иное расстояние, образуя засоры. По мере заполнения формы повышается гидростатическое давление на ее стенки, и при недостаточной прочности форма может деформироваться или разрушиться полностью. При длительном воздействии жидкого металла на поверхность формы в ней возникают внутренние напряжения. Влага мигрирует из поверхностного слоя и создает на некотором расстоянии от него зону конденсации, имеющую повышенную влажность, пониженные прочность и газопроницаемость. По этой зоне могут происходить отслоения, в результате чего на поверхности отливки возможно образование ужимин. Жидкий металл может просачиваться в поры между зернами смеси и образовывать механический пригар. Чем больше давление на поверхность формы, чем больше размеры пор и выше перегрев, тем глубже металл проникает в форму. Под действием нагрева поверхностного слоя в нем начинается интенсивное газообразование, что вызывает резкое повышение давления на границе раздела металл – форма. Под действием градиента давлений начинается миграция газов вглубь формы. Газовые пузыри с поверхности формы могут внедряться в металл, однако у них есть возможность удалиться, не образуя газовых раковин. В результате взаимодействия металла с кислородом атмосферы, формой и парами воды на поверхности отливки образуется тонкая пленка оксидов. Возможно поглощение металлом газов из формы. На первом этапе взаимодействия отливки и формы, когда металл находится в жидком состоянии, смесь должна сохранять высокую прочность, быть газопроницаемой, иметь минимальные газотворность и осыпаемость. *Газопроницаемость* – физическое свойство форм и стержней пропускать через себя газы. Под *газотворностью* понимается способность формовочных материалов выделять газы при нагревании. Осыпаемость характеризует поверхностную прочность форм и стержней. Внутри объема смеси обладают определенной

средней прочностью, так как каждое зерно смеси равномерно со всех сторон связано с окружающими частицами пленкой связующего. Зерна, находящиеся на поверхности формы или стержня, контактируют только со стороны внутренней части и поэтому обладают прочностью меньшей общей прочности смеси. Поверхностная прочность значительно влияет на качество отливки, так как динамическое воздействие струи металла воспринимается в первую очередь поверхностными слоями форм и стержней.

На *втором этапе* прогрев формы распространяется на некоторую глубину. Пары воды проникают на значительную толщину. Как теплоносители, они вместе с фильтрующими газами повышают температуру смеси. На границе с поверхностью форм и стержней образуется корочка затвердевшего металла. Под действием гидростатического напора в начале этапа эта корочка металла прижимается к поверхности формы, к концу этапа под действием усадки упрочненная корка отходит от поверхности и воспринимает на себя все гидростатическое давление. Если форма оказывает значительное сопротивление усадке, в отливке могут образоваться горячие трещины. Для предупреждения накопления внутренних напряжений смесь на этом этапе должна быть податливой. Газовые потоки в толще формы приобретают значительное развитие, образуется поле давлений, газы переносят большое количество тепла. Если форма обладает малой газопроницаемостью и большой газотворной способностью, давление на поверхности раздела металла и формы может превышать прочность корки и газы могут проникнуть в отливку и вызвать образование газовых раковин. Если корка достаточно прочна, газовое давление не прерывает ее, но может создать условия для образования поверхностных газовых дефектов. Продолжается окисление поверхности отливки, и начинается взаимодействие оксидов металла с формовочной смесью. В поверхностном слое материала формы завершается дегидратация и начинается спекание формовочной смеси. В результате отливка и форма механически сцепляются между собой. На этом этапе заметное снижение прочности смеси может привести к искажению геометрии отливки.

На *третьем этапе* форма прогревается на значительную глубину. Температура на поверхности формы достигает максимума. Происходит усадка отливки и расширение формовочной смеси; между ними происходит интенсивное тепловое взаимодействие. Вероятность образования горячих трещин на этом этапе (особенно к его концу) становится значительно меньше.

Продолжается спекание слоя формовочной смеси, прилегающего к отливке, в результате чего смесь может превратиться в трудно-выбиваемый монолит. Газовые потоки продолжают существовать, но давление в порах снижается и роль газов как теплоносителей в конце периода падает до нуля. После этого происходит интенсивное взаимодействие между сплавом, атмосферой и формовочной смесью. Продукты окисления сплава могут образовывать легкоплавкие соединения, которые мигрируют в поры формовочной смеси. В таком случае между отливкой и формой образуется контактная зона, внутренний слой которой представляет собой пригар. Чрезвычайно важным является резкое снижение прочности смеси на третьем этапе взаимодействия металла и формы. К этому времени металл почти полностью переходит в твердое состояние. Происходит усадка отливки. Резкое разупрочнение смеси на этом этапе исключает возможность образования горячих трещин в отливке, обеспечивает легкие условия выбиваемости. Под *выбиваемостью* смеси подразумевают степень трудности удаления стержней или частей формы из остывшей отливки.

На *четвертом этапе* после окончания затвердевания форма и отливка охлаждаются как единое целое. Отливка постепенно рассеивает тепло в окружающую среду, чему способствует продолжающийся процесс фильтрации газов, направленных от отливки в атмосферу. Охлаждение происходит медленно. Отдельные узлы отливки могут характеризоваться значительным перепадом температур, что приводит к появлению внутренних напряжений и деформаций в отливке. Процессы физико-химического взаимодействия между формой и отливкой при понижении температуры сначала замедляются, а потом прекращаются.

Следовательно, на различных этапах изготовления отливки требования к свойствам смеси неоднозначны. Свойства смесей должны характеризоваться как функция времени и температуры, т. е. при разработке, выборе и оценке свойств формовочных и стержневых смесей необходимо учитывать все условия формообразования и формирования отливки.

Анализ протекающих в форме процессов показывает, что литейная форма должна обеспечивать требуемую конфигурацию и заданную точность размеров отливки; воспринимать тепловое воздействие и значительные силовые нагрузки со стороны залитого расплава и формирующейся отливки; создавать условия, предупреждающие образование в отливках пороков; обеспечивать требуемую степень чис-

тоты поверхности отливок при отсутствии на ней пригара. Кроме того, литейная форма является регулятором процесса формирования отливки, средством воздействия на механические и другие свойства литья. В связи с этим в ее функции входит:

- а) обеспечение затвердевания расплава с оптимальной скоростью;
- б) создание условий для направленной кристаллизации отливки, обеспечивающей минимальное развитие неоднородности структуры отливки;
- в) создание условий для направленного затвердевания во всех сечениях для предупреждения образования усадочных раковин в массивных узлах отливки;
- г) регулирование скорости охлаждения отдельных узлов отливки с неоднородной толщиной стенок для предупреждения образования остаточных напряжений, коробления и трещин;
- д) интенсифицирование процесса охлаждения отливок с целью сокращения цикла их производства.

1.2. Классификация литейных форм и моделей

Литейные формы делятся на разовые и постоянные. Вследствие простоты изготовления разовые формы широко применяются в литейном производстве. Применительно к функциям литейные разовые формы для получения отливок высокого качества должны удовлетворять следующим требованиям: сохранять заданные размеры и конфигурацию после удаления модели, сборки и заливки расплавленным сплавом; обеспечивать выход газов, образующихся при заливке расплава; обладать достаточной податливостью; легко разрушаться после охлаждения отливки. Указанные требования обеспечиваются выбором исходных материалов и состава формовочной смеси, а также способом ее уплотнения (упрочнения) при изготовлении форм. При выборе способа формовки учитываются габаритные размеры и толщина стенок отливки, состав смеси и требуемая степень ее уплотнения.

Классификация процессов упрочнения (отверждения) смесей по Б. Б. Гуляеву приведена на рис. 1.2 [2]. С учетом процесса упрочнения формы получили название «сухие», «самозатвердевающие», «замораживаемые» и др. Изготовление песчано-глинистых форм без дополнительной обработки называется *формовкой по-сырому*. Уплотнение формовочной смеси при производстве форм может производиться трамбованием (ручное уплотнение), прессованием, встряхиванием. Используется также импульсное уплотнение, пескодувное, пескострельное, пескометное. Все большее распространение в литейных цехах по-

лучает вакуумная формовка (V-процесс), отличительной особенностью которой является применение сухого песка без связующего, спрессовываемого и удерживаемого в опоке при помощи синтетических полимерных пленок и вакуума.

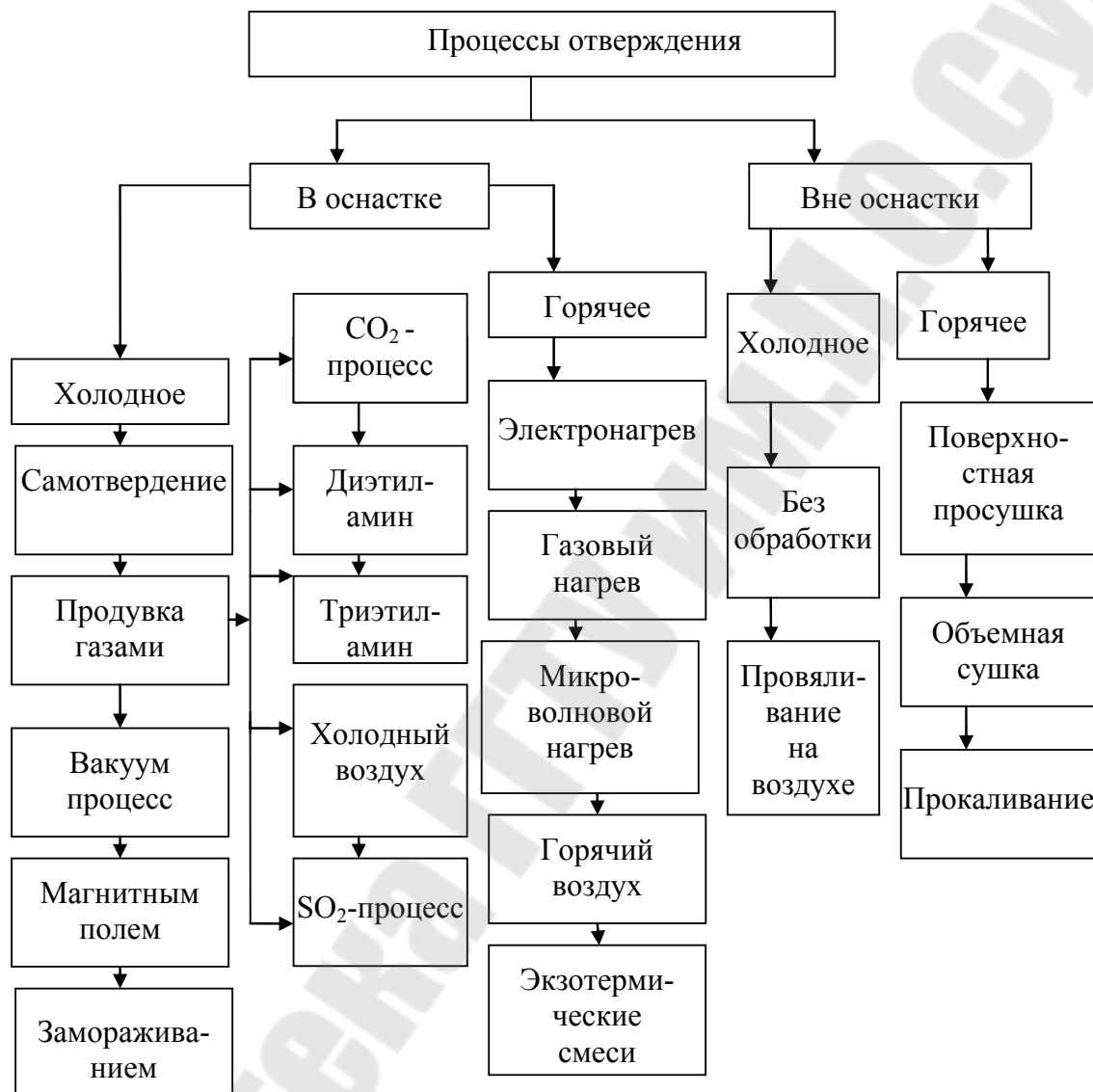


Рис. 1.2. Классификация процессов упрочнения (отверждения) смесей

При изготовлении литейных форм применяются модели. *Моделями* называются приспособления, предназначенные для получения в литейных формах полостей, конфигурация которых соответствует изготавливаемым отливкам. В зависимости от конструкции отливки модель может быть неразъемной и разъемной, состоящей из двух и более частей. Модель снабжается специальными выступающими частями

ми – знаками. Они образуют в форме углубления, предназначенные для установки и фиксирования стержня. Размеры модели больше размеров изделия на величину литейной усадки материала отливки. Модель должна быть легкой, но достаточно жесткой, что особенно важно при изготовлении полуформ на прессовых машинах. Для машинной формовки модели монтируются на специальных плитах, которые называют *модельными*. Модели делятся на постоянные и разовые. Постоянные модели выполняют деревянными, металлическими, пластмассовыми, или из затвердевающих материалов.

Деревянные модели применяются при единичном и мелкосерийном производстве мелких и средних отливок. Металлические модели и плиты используются в основном в условиях крупносерийного и массового производства при машинной формовке. Материалами для металлических моделей и плит служат алюминиевые сплавы, чугун, сталь, бронза и латунь.

1.3. Порядок выполнения лабораторной работы

- 1.3.1. Приготовление формовочных и стержневых смесей.
- 1.3.2. Изготовление стержня.
- 1.3.3. Подготовка модели (нанесение разового разделительного покрытия – серебристого графита).
- 1.3.4. Установление на плиту модели «низа» и опоки.
- 1.3.5. Послойное заполнение опоки формовочной смесью с последующим уплотнением.
- 1.3.6. Срезание излишков уплотненной смеси со стороны контрлада.
- 1.3.7. Выполнение вентиляционных наколов.
- 1.3.8. Кантовка нижней полуформы, нанесение на поверхность разема сухого песка (во избежание прилипания к полуформе «верха»).
- 1.3.9. Установка модели «верха» по элементам центрирования моделей дюбелями.
- 1.3.10. Установка верхней опоки по элементам центрирования полуформ – штырями.
- 1.3.11. Установка модели стояка.
- 1.3.12. Послойное наполнение опоки верха формовочной смесью и уплотнение, особенно тщательное вокруг модели и стояка.
- 1.3.13. Срезание излишков формовочной смеси и выполнение вентиляционных наколов.
- 1.3.14. Извлечение модели стояка, вырезание воронки. Съём и кантовка полуформы «верха».

- 1.3.15. Извлечение моделей «верха» и «низа» из полуформ, отделка (устранение мест неплотностей и повреждений).
- 1.3.16. Прорезание «зумпфа» и питателя.
- 1.3.17. Установка стержня.
- 1.3.18. Сборка формы (по штырям).
- 1.3.19. Заливка формы.
- 1.3.20. Выдержка отливки в форме (кристаллизация + охлаждение).
- 1.3.21. Выбивка отливки.

Контрольные вопросы

1. Определение и назначение литейной формы.
2. Типы смесей, используемые для изготовления форм и стержней.
3. Основные компоненты формовочных и стержневых смесей.
4. Функциональное назначение стержней, литниковой и вентиляционной систем.
5. Факторы, определяющие комплекс свойств формовочных и стержневых смесей.
6. Свойства формовочных и стержневых смесей как функция времени и температуры.
7. Анализ протекающих в форме процессов при заливке ее расплавом и кристаллизации отливки.
8. Функции литейной формы.
9. Классификация литейных форм.
10. Классификация процессов упрочнения (отверждения) формовочных и стержневых систем.
11. Определение, назначение и классификация моделей.
12. Операции технологического процесса изготовления отливки в разовой форме.

2. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРИГОТОВЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

2.1. Физико-химические процессы, происходящие в период смесеприготовления и формирования свойств смесей

Смеси в своем составе содержат наполнитель, связующий материал и вспомогательные добавки. Количество компонентов смеси может быть многочисленным.

Основой смеси является наполнитель. Это твердый компонент, сообщающий смеси необходимую прочность при сжатии, огнеупорность, определенные теплофизические характеристики. В качестве наполнителя формовочных и стержневых смесей наиболее часто применяется кварцевый песок. Форма, размер и равномерность его состава оказывают решающее влияние на свойства смесей. Компоновка зерен песка оценивается координационным числом K , т. е. числом контактов отдельных песчинок. Координационное число в реальных смесях находится в пределах $6 < K < 12$. Чем выше координационное число, тем больше прочность смеси. Если на зерна действуют внешние уплотняющие нагрузки, они занимают положение, соответствующее более плотной упаковке. Сопротивление перемещению зерен обусловлено трением. Величина взаимного трения зерен зависит от силы, действующей перпендикулярно к плоскости контакта, и от коэффициента трения. Коэффициент трения зависит от свойств контактирующих поверхностей зерен и связующего материала. Связующее обволакивает зерна песка и отделяет их друг от друга тонким слоем, что снижает коэффициент трения между зёрнами. Повышение содержания влаги в смесях облегчает взаимосмещение зерен при переходе их к плотной упаковке. На плотность упаковки влияет также форма зерен. Продолговатые остроугольные песчинки трудно уплотняются. Координационное число таких смесей, как правило, минимально. Величина зерен песка также определяет степень контакта песчинок и соответственно прочность смесей. При рассредоточении зернистости более мелкие фракции наполнителя располагаются между более крупными зёрнами, заполняют поры. Увеличивается число контактных точек между зёрнами, повышается прочность смеси и снижается ее газопроницаемость.

Связующие компоненты сообщают смесям прочность и пластичность. Стремление к максимальному повышению удельной прочности диктуется экономической и технологической целесообразностью. Снижение содержания связующих материалов в смесях способствует снижению количества газов, образующихся в процессе заливки форм, облегчению условий выбивки отливки. При изготовлении смесей связующие материалы в процессе перемещения распределяются по зёрнам песка, образуя вокруг них пленку. При малых количествах введенного связующего материала его будет недостаточно для покрытия поверхности всех зерен песка. Поэтому величина абсолютной прочности смесей будет возрастать пропорционально количе-

ству связующего материала до тех пор, пока он не покроет всю поверхность зерен. При достижении этого предела начинается процесс увеличения толщины пленки и образование манжет, что сказывается на замедлении роста абсолютной прочности, который в дальнейшем прекращается. Изменение величины удельной прочности при разных количествах связующего материала характеризуется кривой, максимум которой соответствует моменту полного покрытия поверхности всех зерен или максимальной их части связующей добавкой. Это явление указывает на наличие определенных оптимальных условий для более эффективного использования связующих материалов. Оптимальные результаты могут быть достигнуты при минимальной толщине пленки связующего материала, способного сохранить сплошность при термическом воздействии. Существуют способы расчета толщины пленки связующего материала. Прочностные свойства многих связующих органического (лигносульфонаты технические, декстрин, патока и др.) и неорганического (глина, цемент и др.) происхождения проявляются только в присутствии воды, причем вода в одних случаях образует с ними коллоидные системы, а в других – как бы сама растворяется в связующем, вызывая набухание последних. Вода способствует равномерному распределению компонентов смеси, увеличивает прочность сцепления (адгезию) связующего с поверхностью зерен песка. Кроме того, вода, имеющая сравнительно высокое поверхностное натяжение, сама в некоторой степени является связующим.

Вспомогательные формовочные материалы в смесях имеют следующее назначение: ускорение физико-химических процессов при изготовлении смеси, повышение прочности, пластичности, текучести, газопроницаемости, улучшение податливости, выбиваемости, регулирование продолжительности живучести, сообщение смесям противопожарных свойств, снижение вязкости и прилипаемости смесей к оснастке, обеспечение необходимой теплоаккумулирующей способности форм и стержней.

Технологический процесс приготовления формовочных и стержневых смесей состоит из следующих операций: подготовка свежих материалов и добавок; обработка оборотной смеси; смешивание подготовленных материалов.

Перемешивание составных частей – одна из главных операций по приготовлению качественной смеси. Свойства формовочных и стержневых смесей зависят от равномерности распределения связующих материалов и специальных добавок по объему смеси. Равно-

мерность распределения составляющих и создание оболочек связующего вокруг зерен песка достигается в процессе приготовления смеси. При смешивании механизм смесителя создает в объеме смеси организованный поток составляющих. Внутри этого потока отдельные частицы, соударяясь, движутся беспорядочно. Процесс их движения, их траектория подчиняются законам теории вероятности. *Однородность* называют соответствие содержания составляющих компонентов в любом минимальном объеме смеси заданному. Степень неоднородности смеси может быть определена с помощью проб. Если общая концентрация компонента в смеси C_0 , концентрация компонента в пробе C_i , а число проб n , то степень неоднородности C_H может быть определена как коэффициент вариации в n взятых пробах:

$$C_H = \frac{1}{C_0} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_0)^2}{n}} \cdot 100. \quad (2.1)$$

Степень неоднородности смеси C_H в процессе смешивания уменьшается до некоторой величины, не изменяющейся в дальнейшем. В первый период смешивания основная часть связующего располагается в виде агрегатов между песчинками и только небольшая часть ее обволакивает их поверхность, образуя контакты между ними, сообщая смеси незначительную прочность. Дальнейшее обволакивание зерен песка происходит при многократном создании в смешиваемом объеме уплотненной структуры, вследствие чего вся поверхность зерен покрывается оболочкой связующего. Скорость протекания процесса обволакивания зерен песка связующими определяется физико-механическими свойствами составляющих смеси, конструкцией рабочих органов смесителя, числом уплотнений и разрыхлений в элементарном объеме смеси в единицу времени.

Структурно-механические свойства формируются на протяжении всего цикла приготовления смеси. Рациональная последовательность введения компонентов и оптимальный режим приготовления смеси обеспечивают достижение ее однородности и максимума прочности. При смешивании происходит распределение отдельных компонентов смеси и формирование на поверхности наполнителя оболочки связующего, т. е. создается структура, качество которой определяет свойства упрочненной смеси.

Силы адгезии и когезии связующего, находящиеся в функциональной зависимости от сил его поверхностного натяжения, оказывают решающее влияние на качество структуры смеси.

Модель формирования однородной структуры смеси рассматривается в несколько этапов. На первом этапе (рис. 2.1, а) наполнитель занимает объем V . В некоторую часть этого объема вводится связующее, после чего в общем объеме появляется участок V_1 , в котором распределено все связующее. Благодаря силам адгезии на каждой частице наполнителя формируется оболочка связующего (процесс смачивания), толщина которой значительно превышает оптимальную. На поверхности наполнителя всегда имеется активный слой экспонированных ионов, которые вступают во взаимодействие с поверхностным слоем молекул связующего. Это взаимодействие определяет работу адгезии в пограничном слое. При этом появляется так называемый эстафетный эффект по Г. И. Дистлеру, при котором первый слой связанных молекул взаимодействует с последующим, образуя оболочку упорядоченных молекул связующего. Особенностью этого слоя является дифференцированная сила связи. По мере удаления от наполнителя силы связи, определяемые как силы когезии, уменьшаются и достигают значения, равноценного собственно работе когезии, т. е. вдвое больше силы поверхностного натяжения. В этом случае силы когезии меньше сил адгезии. На втором этапе (рис. 2.1, б) при смешивании происходит сдвиг объема V_1 и внедрение его в следующий элементарный объем V_2 . Поскольку силы адгезии превышают силы когезии, связующее из поверхностных слоев оболочки наполнителя в объеме V_1 переходит на активную поверхность наполнителя в объеме V_2 . При дальнейшем сдвиге частиц затрачивается работа на преодоление сил когезии в связующем и происходит разрыв контактов оболочек двух частиц наполнителя. Процесс перемешивания продолжается до полного распределения связующего между зернами наполнителя и формирования на них оболочек (рис. 2.1, в).

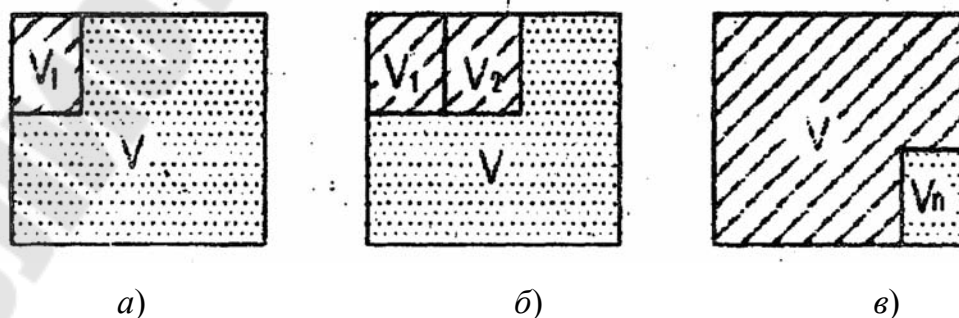


Рис. 2.1. Модель формирования однородной структуры смеси

При продолжении смешивания, т. е. на третьем этапе, система получает энергию, расходуемую на удаление воды или растворителя в составе связующего. Этот процесс сопровождается возрастанием жесткости связей в оболочке за счет увеличения сил адгезии. По мере увеличения времени перемешивания оболочки вокруг зерен уплотняются и смесь в это время состоит из отдельных изолированных зерен наполнителя с пленочной оболочкой связующего. Отсутствие связи между отдельными частицами смеси свидетельствует о нарушении термодинамического равновесия системы, при котором между двумя смоченными зёрнами всегда возникают жидкостные манжеты. После стандартного уплотнения прочность смеси во влажном состоянии возрастает, поскольку силы когезии увеличиваются за счет наложения эффекта дальнего действия, и по причине изменения состояния связующего из-за частичной потери растворителя.

Песчано-глинистые смеси должны иметь высокую прочность во влажном и одновременно упрочненном состояниях, поэтому после достижения однородности процесс перемешивания продолжают до тех пор, пока прочность смеси во влажном состоянии не достигнет максимальной величины.

Целью работы является исследование продолжительности перемешивания и порядка ввода исходных компонентов на свойства смеси.

2.2. Порядок проведения работы

2.2.1. Взвешиваются составляющие компоненты в расчете на 1 и 3 кг формовочной смеси.

Приготавливается смесь заданного состава. Для этого в специальной емкости вручную смешиваются компоненты смеси в следующем порядке: песок + вода – 3 мин; (песок + вода) + бентонит – 7 мин.

2.2.2. Изготавливается три стандартных образца и проводится испытание смеси на газопроницаемость и прочность при сжатии в сыром состоянии. Результаты испытаний заносятся в табл. 2.1.

2.2.3. Приготавливается формовочная смесь в бегунах при следующем порядке введения компонентов: песок + вода (продолжительность перемешивания – 2 мин) + бентонит. Смесь перемешивается в течение 15 мин. После двух-, пяти-, пятнадцатиминутного перемешивания отбирается проба и определяются газопроницаемость и предел прочности при сжатии смеси во влажном состоянии.

Результаты испытаний заносятся в табл. 2.1.

По данным эксперимента определяется оптимальная продолжительность режима перемешивания смеси.

Таблица 2.1

Физико-механические свойства	Технологический режим приготовления смеси				
	«вручную»	В лабораторных бегунах в течение			
		2 мин	5 мин	10 мин	15 мин
σ , МПа					
К, ед.					

2.2.4. Исследование влияния порядка ввода компонентов в процессе приготовления на физико-механические свойства смеси.

Приготавливается смесь заданного состава по ранее определенному оптимальному режиму перемешивания компонентов. Порядок ввода компонентов смеси представлен в табл. 2.2.

Исследование свойств смесей производится согласно ГОСТ 29234.4–91. Результаты испытаний регистрируются в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Влияние порядка ввода компонентов на физико-механические свойства смеси

Порядок ввода компонентов смеси	Продолжительность перемешивания, мин	Физико-механические свойства смеси	
		σ , МПа	К, ед.
Кварцевый песок + вода	2		
(Кварцевый песок + вода) + бентонит	3		
Кварцевый песок + бентонит	2		
(Кварцевый песок + бентонит) + вода	3		
Кварцевый песок + водобентонитовая суспензия	5		
Кварцевый песок + вода + глина	5		

Контрольные вопросы

1. Компоненты формовочных и стержневых смесей, их функции.
2. Координационное число смеси и факторы, влияющие на его величину.
3. Механизм формирования пленки связующего на зернах наполнителя.

4. Влияние влаги на формирование структуры смеси.
5. Операции технологического процесса приготовления смеси.
6. Факторы, влияющие на структурно-механические свойства смеси.
7. Модель формирования однородной структуры смеси.
8. Структуры песчано-глинистых смесей.
9. Влияние порядка ввода компонентов и продолжительности их перемешивания на физико-механические свойства смеси.

3. ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ФОРМОВОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ

3.1. Классификация связующих материалов

Упрочнение формовочных и стержневых смесей осуществляется связующими материалами, вводимыми в их состав. Предпочтительно, чтобы связующие находились в жидком состоянии, что создает условия для равномерного обволакивания ими зерен наполнителя. В литейном производстве применяются связующие материалы: жидкие при комнатной температуре; переходящие в жидкое состояние при растворении их в соответствующих растворителях; расплавляющиеся и приобретающие свойства жидкости при нагреве.

Оценка упрочняющего действия производится по величине удельной прочности связующего материала. *Удельной* называется прочность, полученная при испытании сухого стандартного образца из смеси с оптимальным содержанием связующего, отнесенная к его процентному содержанию в смеси:

$$\sigma_{уд} = \sigma_{в} \cdot 100/P(100 - V), \quad (3.1)$$

где $\sigma_{уд}$ – величина удельной прочности, МПа/%; $\sigma_{в}$ – предел прочности при растяжении образца в сухом состоянии, МПа; P – количество связующего материала, введенного в смесь, мас. %; V – содержание в связующем материале растворителя, мас. %.

Определение величины удельной прочности позволило связующие материалы, применяемые в литейном производстве, условно разделить на следующие основные группы:

- 1 группа $\sigma_{уд} > 0,5$ МПа/%;
- 2 группа $\sigma_{уд} = 0,3-0,5$ МПа/%;
- 3 группа $\sigma_{уд} < 0,3$ МПа/%.

Между характером затвердевания и величиной удельной прочности существует следующая зависимость: максимальной прочностью

обладают необратимо затвердевающие материалы, минимальной – обратимо затвердевающие.

Для современного периода развития литейного производства характерно использование прогрессивных технологий изготовления форм и стержней с применением разнообразных по природе и назначению связующих материалов для различных процессов упрочнения. Это вызвало необходимость корректировки и дополнения классификационных признаков для связующих материалов [3]. Основные из них следующие:

1. Исходная химическая природа: органические, неорганические, водорастворимые, неводорастворимые.

2. Процессы отверждения: поликонденсация (кислотоотверждаемые синтетические смолы); полимеризация одноступенчатая (олифа); многоступенчатая полимеризация (фенолоизоцианатные связующие), радикальная полимеризация (отверждение полиэфиров воздействием SO_2); окислительно-восстановительные реакции с образованием кислых солей (металлофосфатные связующие); гидратация (цемент, гипс); физические факторы (вакуумирование, магнитное поле, замораживание, затвердевание расплавов термопластичных материалов).

3. Способы отверждения: в холодной оснастке под действием жидких или порошковых отвердителей или катализаторов; в холодной оснастке под действием газовых или парообразных реагентов; в нагреваемой оснастке; вне оснастки путем обработки; в оснастке с помощью физических методов воздействия (вакуум, магнитное поле, замораживание, СВЧ-излучение); первичное в оснастке вследствие набухания (формовочные глины, крахмалит);

4. Преобладающий тип связи между частицами огнеупорного наполнителя: химический (смоляные, масляные, жидкостекольные, цементные, фосфатные и прочие смеси, отверждаемые при нормальной температуре или под действием теплоты); электромагнитный (смеси для магнитной формовки); молекулярный (керамическая форма после прокаливания); электростатический (сырые песчано-глинистые смеси); гравитационный, в том числе в условиях разряжения (ВПФ-процесс); электронный (металлические формы).

3.2. Основы формирования прочности смесей

При приготовлении смеси связующее вещество растекается по зернам наполнителя. После завершения перемешивания под влиянием разности молекулярного и капиллярного давлений связующий мате-

риал перетекает в зоны контакта. На поверхности наполнителя образуется пленка, а в контактных зонах – стыковые манжеты (мосты).

Факторы, влияющие на формирование прочности смесей, приведены на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Факторы, влияющие на формирование прочности смесей

Определяющими факторами при формировании прочности смесей, являются количество (координационное число) и прочность контактов между зернами наполнителя и состояние оболочек связующего на их поверхности. В реальных формовочных смесях координационное число ($6 < K < 12$) колеблется от 6 до 12. Координационное число зависит от размеров и формы зерен наполнителя, степени уплотнения. Максимальная прочность достигается при $K = 12$.

Прочность контактов зависит от размеров и конфигурации манжеты и величин сил адгезии и когезии связующего. *Адгезией* называется связь между поверхностными слоями двух или более соприкасающихся разнородных фаз. Связь между частицами внутри фазы называется *когезией*. Прочность контактов также определяется строением оболочки связующего на поверхности зерен наполнителя, т. е. структурой пленки связующего. Согласно классификации различают пять структурных типов: сплошная однородная ровная пленка (олифа, связующее П); сплошная пленка, имеющая разобщенные пузыри (ММФ-17); сплошная пленка, имеющая складки (жидкое стекло, подвергнутое тепловой обработке); сплошная пленка, имеющая зернистую структуру (ГТФ); пленка, имеющая трещины (древесный пек, ЧГУ, лигносульфонат). Наибольшей прочностью обладают связующие, образующие сплошные однородные пленки. Наименьшей – связующие, образующие пленки с трещинами.

3.3. Исследование влияния содержания связующего на прочностные свойства смеси

3.3.1. Порядок проведения лабораторного эксперимента. Составы смесей, подлежащих испытанию, приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Состав и свойства формовочных смесей

Компоненты смесей, мас. %	Механические свойства смесей	
	прочность во влажном состоянии, МПа	газопроницаемость, ед.
Кварцевый песок-95 Формовочная глина-5 Вода-6		
Кварцевый песок-93 Формовочная глина-7 Вода-6		

Смеси приготавливаются в бегунах. Порядок ввода компонентов и продолжительность их перемешивания следующие: (песок + вода) – 2 мин; (песок + вода) + формовочная глина – 3 мин. Изготовление образцов и их испытание производится согласно ГОСТ29234.4–91. Результаты испытаний регистрируются в табл. 3.1. Анализ исследований представляется в виде выводов.

Контрольные вопросы

1. Классификация связующих материалов.
2. Факторы, влияющие на формирование прочности смесей.
3. Классификация процессов упрочнения.
4. Влияние содержания связующего материала на физико-механические свойства формовочных смесей.
5. Определение удельной прочности связующего материала.
6. Дополнительные классификационные признаки связующих материалов.
7. Способы упрочнения (отверждения) смесей.
8. Типы связей между частицами огнеупорного наполнителя в формовочных смесях.
9. Факторы, влияющие на прочность формовочных смесей.
10. Определение сил адгезии и когезии.
11. Влияние величины координационного числа на прочность смесей.
12. Факторы, влияющие на величину координационного числа.
13. Структурные типы пленок связующих.
14. Влияние содержания связующего на прочность формовочных смесей.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ СМЕСЕЙ

4.1. Влага в формовочных и стержневых смесях

Большинство формовочных смесей в исходном рабочем состоянии содержат воду в количестве, необходимом для придания им определенных технологических свойств. Прочностные свойства многих связующих органического (лигносульфонат) и неорганического (глина, жидкое стекло, цемент) происхождения проявляются только в присутствии воды, причем вода в одних случаях растворяет связующее, в других – образует с ними коллоидные системы, а в третьих

случаях как бы сама растворяется в связующем, вызывая набухание последних. Вода способствует равномерному распределению компонентов смеси, увеличивает прочность сцепления (адгезию) связующего с поверхностью зерен песка. Кроме того, вода, имеющая сравнительно высокое поверхностное натяжение, сама в некоторой степени является связующим.

Вода, входящая в состав формовочных смесей, не является просто механически примешанным компонентом. Влажные формовочные и стержневые смеси принадлежат к классу структурно-сложных коллоидных капиллярно-пористых веществ. Существует три формы связи воды с минеральными и органическими веществами смеси: химическая, физико-химическая и физико-механическая. Каждая форма связи характеризуется несколькими основными признаками.

Наиболее прочной связью воды с минералами является химическая связь, характеризуемая точными количественными соотношениями; она нарушается при нагреве минералов до высоких температур. Химическая связь воды с минералами возникает в результате протекания химической реакции или при образовании кристаллогидратов.

Физико-химическая связь жидкости с коллоидными веществами в стадии ее установления аналогична распространению двух жидкостей с разными молекулярными массами. С точки зрения термодинамики процесс набухания коллоидного вещества (например, глины) в первую очередь аналогичен процессу образования твердого раствора; при этом происходит адсорбция молекул жидкости молекулами внешней и внутренней поверхностей мицелл коллоидного тела с выделением некоторого количества теплоты.

Гидратационная вода, будучи адсорбированно-связанной, обладает свойствами, отличными от свойств обычной воды: не растворяет электролиты и вещества, ее плотность значительно больше единицы, а температура замерзания ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кроме того, она обладает свойствами упругого твердого тела. Толщина адсорбционного слоя воды составляет несколько сотен молекулярных диаметров; адсорбционные свойства воды ослабляются по мере удаления от поверхностного молекулярного слоя. Одновременно с выделением тепла адсорбция сопровождается также некоторым сжатием (контракцией) системы: коллоидное тело-жидкость. Объем набухшего тела меньше суммы объемов поглощенной жидкости и адсорбента.

Вторая стадия набухания коллоидных тел происходит без выделения тепла и сжатия системы. Вода, поглощенная во второй стадии, называется *осмотической*. Свойства этой воды не отличаются от свойств обычной жидкости. Такими же свойствами обладает так называемая иммобилизованная жидкость, которая находится внутри ячеек при образовании коллоидного тела.

Физико-механическая связь обусловлена действием капиллярных сил и сил смачивания. Первые зависят от поверхностного натяжения жидкости и капиллярного давления, а вторые определяются в основном природой и состоянием поверхности контактирующих материалов. Соотношения между капиллярной и поверхностно-связанной водой не одинаково у глин различных месторождений и изменяется в пределах примерно 0,3–2,0.

В некоторых случаях формовочные материалы (краски, пасты, глинистая суспензия, огнеупорные покрытия при литье по выплавляемым моделям) могут содержать гравитационную (механически захватываемую) влагу, последняя может самопроизвольно удаляться под действием силы тяжести. В обычных формовочных смесях гравитационная вода отсутствует.

Следовательно, формовочные смеси содержат влагу, удерживаемую различными формами связи. Однако существующие методы контроля влажности не позволяют дифференцировать ее по формам связи. В подавляющем большинстве случаев под понятием «влажность» формовочной смеси подразумевают содержание в ней воды, удерживаемой физико-химической и физико-механической связями.

Влажность не одинаково влияет на различные свойства смесей. С повышением влажности одни свойства смеси до определенного значения улучшаются, другие ухудшаются. Это вызывает соответствующие трудности при составлении рецептур смесей и необходимость принятия компромиссного решения, порою ухудшающего некоторые свойства. Диапазон изменения влажности формовочных смесей, уплотняемых обычными методами (вручную, встряхиванием, прессованием, пескометом) находится в пределах 2–8 %, а стержневых – в пределах 0–4 %.

Современные технологические процессы и особенно автоматические и механизированные смесеприготовительные и формовочные линии предъявляют жесткие требования к величине отклонения влажности смесей, составляющей 0,2–0,5 %. В случае большего отклонения влажности смесь теряет свои оптимальные технологические

свойства, что нарушает работу установок и способствует образованию дефектов в отливках.

С отклонением влажности смеси от оптимального значения связано появление следующих распространенных дефектов в отливках: песчаных засоров и раковин, ужимин, пористости, поверхностных и объемных газовых раковин, искажений размеров отливки (в результате повышенной деформации смеси), дефектов поверхности.

Для каждого конкретного состава смеси существует оптимальная величина влажности, при которой достигается наилучшее сочетание основных свойств смеси. В большинстве случаев оптимальная влажность определяется экспериментально.

Задачей лабораторной работы является определение оптимального содержания влаги в смеси. Контроль свойств смеси проводится по влажности, газопроницаемости и пределу прочности при сжатии во влажном состоянии (ГОСТ 29234.11–91).

Для определения закономерности изменения свойств, для исследования механизма взаимодействия воды с другими ингредиентами и определения оптимального содержания, количество воды, вводимое в смеси, изменяется в широком диапазоне.

4.2. Порядок проведения лабораторной работы

4.2.1. Для проведения лабораторной работы необходимы: лабораторные бегуны, лабораторный копер, аналитические весы с разновесами, прибор для определения газопроницаемости, прибор для определения прочности смеси при сжатии, прибор для ускоренного определения влажности, металлическая гильза, выталкиватель, сухой песок, бентонит, мерный цилиндр.

4.2.2. Взвешиваются составляющие компонента в расчете на 3 кг и приготавливается смесь следующего состава, мас. %:

- кварцевый песок-93;
- бентонит-7;
- вода-2.

4.2.3. Из приготовленной смеси изготавливается три стандартных образца и проводится испытание смеси на газопроницаемость, прочность при сжатии в сыром состоянии, влажность. Результаты испытаний заносятся в табл. 4.1.

4.2.4. В оставшуюся в бегунах смесь трижды вводится дополнительно вода в количестве 90 см^3 . После каждого ввода воды смесь перемешивается в течение 2–3 минут и проводится ее испытание. Результаты испытаний заносятся в табл. 4.1.

Физико-механические свойства смесей

Вид смеси	Физико-механические свойства формовочной смеси											
	Влажность, %				Газопроницаемость, ед.				Предел прочности, МПа			
Исходная												
Содержащая дополнительно 90 см ³ воды												
Содержащая дополнительно 180 см ³ воды												
Содержащая дополнительно 270 см ³ воды												

Контрольные вопросы

1. Роль воды в формовочных и стержневых смесях.
2. Формовочные и стержневые смеси как структурные системы.
3. Формы связи воды с компонентами смеси, их характеристика.
4. Влияние влажности на свойства формовочных и стержневых смесей.
5. Дефекты отливок, образующиеся по причине отклонения количества влаги от оптимального содержания.
6. Диапазон изменения влажности реальных формовочных и стержневых смесей.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ МНОГОКРАТНОГО НАГРЕВА

5.1. Изменения в формовочных материалах, происходящие в процессе заливки расплава и формирования отливки

Модель идеальной формовочной смеси представляется специалистам дешевым, достаточно текучим или газообразным веществом, которое при контакте с модельной оснасткой мгновенно затвердевает при нормальной температуре, образуя тонкую (оболочковую) форму с гладкими стенками и высокой прочностью. Форма несмачиваема и химически инертна по отношению к заливаемому металлу. Имеет

достаточную газопроницаемость для удаления газов и воздуха при заливке. Сохраняет прочность и стабильность размеров до затвердевания достаточно толстой корки отливки, затем саморазрушается или испаряется, переходя в исходное состояние, пригодное для повторного применения без регенерации. В реальном производстве пока еще не получены саморегенерирующиеся смеси, однако возможность многократного использования является одним из главных критериев их технологичности. Способность смесей к многократному применению оценивается долговечностью. Под долговечностью формовочной смеси понимается ее способность сохранять свои свойства при многократном нагреве. Долговечность зависит от физических и химических свойств отдельных компонентов, входящих в состав смеси [4].

Количественная оценка долговечности определяется по формуле

$$D = (\sigma_{сж}^3 / \sigma_{сж}^3) 100, \quad (5.1)$$

где $\sigma_{сж}$ – среднее арифметическое значение результатов трех определений предела прочности при сжатии свежеприготовленной смеси, МПа; $\sigma_{сж}^3$ – среднее арифметическое значение результатов определений предела прочности при сжатии смеси после трехкратного нагрева, МПа.

При формировании отливки в результате температурного воздействия в формовочных и стержневых смесях протекают процессы, вызывающие изменения в формовочных материалах (табл. 5.1).

В качестве наполнителя формовочных и стержневых смесей в основном применяется кварцевый песок. В смесях при заливке формы металлом происходят процессы деструкции связующих, полиморфные превращения огнеупорной основы, спекание, потеря и поглощение воды.

Таблица 5.1

Модификационные превращения и объемные изменения в кварцевом песке при нагреве

Превращение	Температура, °С	Изменение объема, %
β -кварц \leftrightarrow α -кварц	573	+0,82
γ -тридимит \leftrightarrow β -тридимит	163	+0,20
β -кристобалит \leftrightarrow α -кристобалит	253	+3,70
β -тридимит \leftrightarrow γ -тридимит	117	+0,20
α -кварц \leftrightarrow α -тридимит	870	+16,0
α -кварц \leftrightarrow α -кристобалит	1050	+15,4
Кварцевое стекло \leftrightarrow α -кристобалит	1720	-0,90

Как и кварц, глины, применяемые в качестве связующих формовочных смесей, при нагревании претерпевают превращения с изменением объема. В составе монтмориллонита различают конституционную воду и межпакетную. В монтмориллоните часть межпакетной воды может быть удалена из решетки без разрушения минерала и снова возвращена в минерал. Такая вода называется *цеолитной*. При нагреве монтмориллонита до 100–180 °С происходит выделение межпакетной воды, при 542–720 °С – потеря гидроксильных групп кристаллической решетки и разрушение ее, при 800–890 °С – разрушение минерала и потеря молекул гидроксида, связанных в октаэдрическом слое с атомами магния. После прокалки монтмориллонита он полностью и необратимо теряет способность набухать и свои связующие свойства. В каолинитах потеря гигроскопической воды происходит при температуре 100–145 °С, конституционной – при температуре 625–750 °С. При температуре 970–1030 °С происходит кристаллизация аморфных продуктов распада каолинита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) с образованием $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и муллита ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), при температуре выше 1220 °С аморфные кремнекислоты кристаллизуются с образованием крестобалита.

Каолиновые глины сохраняют свои связующие свойства до 450–550 °С, монтмориллонитовые – до 545–720 °С.

В органических связующих и специальных добавках при нагреве протекают процессы деструкции и газификации. В диапазоне 100–400 °С происходит образование новых углеродных связей. Дальнейшее повышение температуры сопровождается карбонизацией полимеров и образованием трудноокисляемого коксоподобного остатка, составляющего при 600 °С 30–60 % массы исходного связующего.

Схема деструкции органических компонентов смеси представлена на рис. 5.1.

Алюмофосфатные и алюмохромфосфатные связующие сохраняют прочность при нагреве до температуры 1300 °С. Жидкое стекло при высокотемпературном воздействии образует на поверхности песчинок прочную пленку твердого геля кремниевой кислоты, которая делает невозможным повторное использование такой формовочной или стержневой смеси.

Толщина слоя смеси, в которой могут происходить необратимые процессы, зависит от температуры заливаемого металла, теплофизических свойств материала формы, толщины стенки отливки, выдержки ее в форме до выбивки.

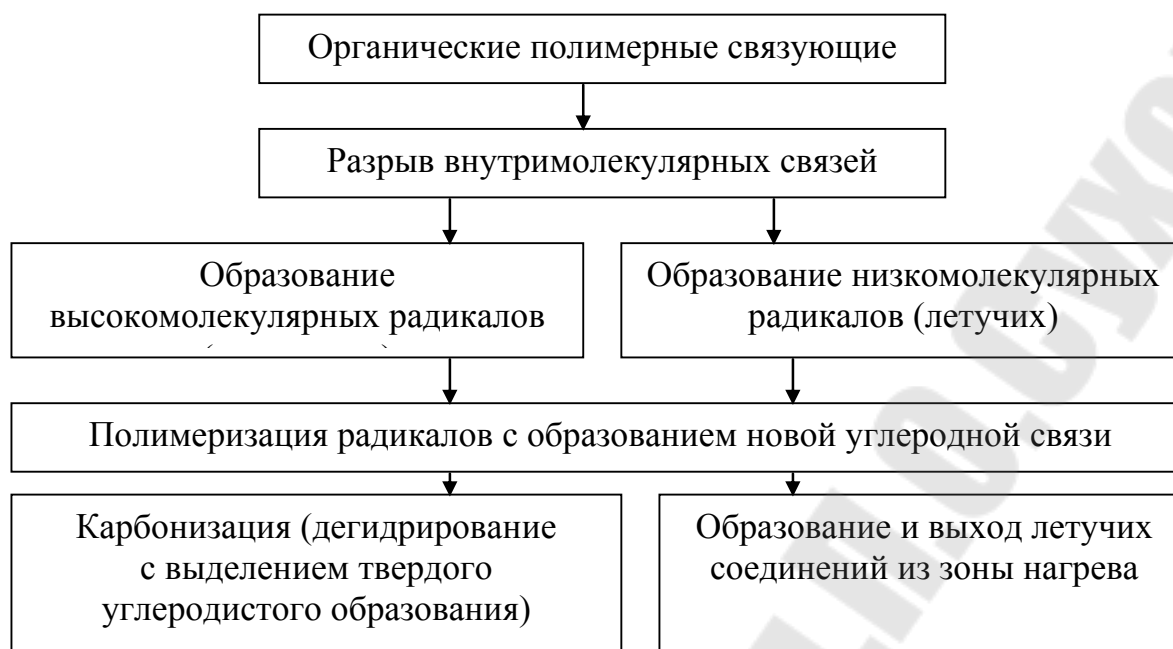


Рис. 5.1. Схема деструкции органических компонентов смеси

Процессы, происходящие в формовочных и стержневых смесях при заливке жидкого металла, практически необратимы. Некоторые виды смесей (песчано-глинистые) после ввода в их состав воды частично восстанавливают свои первоначальные свойства.

Проведение данной работы направлено на изучение изменения технологических свойств смесей при многократном использовании смесей. Задачей работы ставится определение долговечности смесей.

5.2. Методы лабораторного эксперимента

Определение предела прочности смеси при сжатии во влажном состоянии производится по стандартной методике.

Порядок проведения лабораторной работы:

5.2.1. Для проведения работы необходимы: лабораторные бегуны, лабораторный копер, прибор для определения предела прочности смеси при сжатии, металлическая гильза, выталкиватель, бентонит, кварцевый песок, вода.

5.2.2. Приготавливается 3 кг смеси следующего состава, мас. %:

- кварцевый песок-5;
- отработанная смесь-92;
- бентонит-3;
- вода-5.

5.2.3. Изготавливаются из приготовленной смеси 20 образцов.

5.2.4. По испытанию трех образцов определяется предел прочности смеси при сжатии. Результаты испытаний заносятся в таблицу.

5.2.5. Оставшиеся образцы выдерживаются в нагревательной печи при температуре 1000 °С в течение 5 мин.

5.2.6. Затем образцы разрушаются, загружаются в бегуны, смесь перемешивается в течение 2 мин, дополнительно вводится вода в количестве 3 % от массы смеси. После пятиминутного перемешивания определяется по трем образцам предел прочности смеси при сжатии во влажном состоянии.

5.2.7. Нагрев при одинаковом тепловом режиме, освежение с добавкой воды и испытание смеси на прочность производится три раза. Результаты испытаний заносятся в табл. 5.2.

5.2.8. По формуле (5.1) вычисляется долговечность, результаты вычисления заносятся в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Влияние многократного нагрева на прочность смеси

Предел прочности смеси при сжатии во влажном состоянии, МПа														Долговечность, %		
До нагрева				После 1-го нагрева				После 2-го нагрева				После 3-го нагрева				
1	2	3	ср.	1	2	3	ср.	1	2	3	ср.	1	2	3	ср.	

Контрольные вопросы

1. Определение модели идеальной формовочной смеси.
2. Определение долговечности и ее количественная оценка.
3. Процессы, протекающие в литейной форме при заливке ее жидким сплавом.
4. Модификационные превращения кварцевого песка при температурном воздействии.
5. Процессы, происходящие в формовочных глинах при температурном воздействии.

Литература

1. Кукуй, Д. М. Теория и технология литейного производства : учеб. пособие / Д. М. Кукуй, В. А. Скворцов, В. Н. Эктова. – Минск : ДизайнПРО, 2000. – 415 с.
2. Гуляев, Б. Б. Литейные процессы : учебник / Б. Б. Гуляев. – Ленинград : Машгиз, 1960. – 416 с.
3. Жуковский, С. С. Формовочные материалы и технология литейной формы : справочник / С. С. Жуковский. – Москва : Машиностроение, 1993. – 431 с.
4. Медведев, Я. И. Технологические испытания формовочных материалов : учебник / Я. И. Медведев, И. В. Валисовский. – Москва : Машиностроение, 1973. – 308 с.

Содержание

1. Технологический процесс изготовления отливок в разовых формах	3
2. Влияние технологического режима приготовления на свойства формовочных смесей.....	13
3. Формирование прочности формовочных и стержневых смесей.....	20
4. Определение оптимального содержания влаги песчано-глинистых смесей	24
5. Исследование изменения свойств формовочных смесей в процессе многократного их нагрева	28
Литература	33

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Эктова Валентина Николаевна

ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Лабораторный практикум
по одноименному курсу для студентов
специальности 1-36 02 01 «Машины и технология
литейного производства» дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор

Н. Г. Мансурова

Компьютерная верстка

Н. Б. Козловская

Подписано в печать 31.03.08.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 2,11.

Изд. № 167.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.