

С.С. Жуковский

**ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩИЕ
СВЯЗУЮЩИЕ И СМЕСИ
ДЛЯ ЛИТЕЙНЫХ
СТЕРЖНЕЙ И ФОРМ**

Справочник



**МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2010**

УДК 621.742
ББК 34.612
Ж86

Жуковский С.С.

Ж86 Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм: справочник. – М.: Машиностроение, 2010. – 256 с.; ил. ISBN 978-5-94275-499-0

Приведены номенклатура холоднотвердеющих связующих и смесей (ХТС) для изготовления стержней и форм, а также их производители в промышленно развитых странах и России. Представлены составы, анализ химических и технологических характеристик ХТС и связующих, методики исследовательских и производственных испытаний, методы управления свойствами. Описаны вспомогательные материалы для новых процессов: разделительные покрытия, средства очистки оснастки, клеи.

Рассмотрены вопросы, связанные с внедрением ХТС на стадии предварительной проработки и промышленного освоения: характеристики и правила применения противопопригарных покрытий, технологические параметры изготовления стержней и форм, регенерация смесей, техника безопасности и экологические характеристики. Приведены примеры расчетов экономической эффективности для конкретных производств.

Для специалистов литейного производства, может быть полезен преподавателям, аспирантам и студентам вузов.

УДК 621.742
ББК 34.612

ISBN 978-5-94275-499-0

© Жуковский С.С., 2010

© Издательство «Машиностроение», 2010

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ И ФОРМ ИЗ ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ	5
1.1. Виды смесей и процессов. Номенклатура связующих и вспомогательных материалов	5
1.2. Технологические свойства. Методы испытаний	11
1.2.1. Прочность	11
1.2.2. Живучесть	18
1.2.3. Текучесть	19
1.2.4. Кислотная потребность (ADV–Acid demand value)	20
1.2.5. Высокотемпературные свойства	21
1.3. Наполнители	29
Глава 2. САМОТВЕРДЕЮЩИЕ ХТС	36
2.1. Особенности упрочнения связующих	36
2.2. ХТС с синтетическими смолами	39
2.2.1. Фурановые смолы	39
2.2.2. Карбамидно-фурановые и фенолофурановые смолы	40
2.2.3. Фенолоформальдегидные смолы, отверждаемые эфирами (процесс Альфа-сет)	50
2.2.4. Фенолоформальдегидные смолы кислотного отверждения	68
2.2.5. Полиуретановые связующие (технология Пер-сет)	69
2.3. ХТС с жидким стеклом	71
2.4. ХТС с фосфатными связующими	80
2.5. Вспомогательные материалы	84
2.5.1. Разделительные покрытия	84
2.5.2. Средства для очистки оснастки	86
2.5.3. Клей-расплав	87
Глава 3. ХТС, ОТВЕРЖДАЕМЫЕ ГАЗООБРАЗНЫМИ РЕАГЕНТАМИ	90
3.1. Отверждение аминами	92
3.1.1. Общие вопросы	92
3.1.2. Технологические особенности процесса Cold-box-amine	111
3.1.3. Разработка фирмы Ashland – связующее «Изомакс»	118
3.2. Resol-CO ₂ -процесс	121
3.3. MF-процесс (Бета-сет-процесс)	127
3.4. Ероху-SO ₂ -процесс	131
3.5. CO ₂ -процесс	134

Глава 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ДЛЯ ХТС	135
4.1. Критерии выбора технологии	135
4.2. Параметры изготовления форм из ХТС	136
4.3. Особенности проектирования стержневых ящиков при отверждении стержней продувкой газообразными реагентами	143
4.3.1. Общие положения	143
4.3.2. Конструкционные материалы	144
4.3.3. Проектирование элементов оснастки	147
4.3.4. Конструирование вдувного отверстия	163
4.3.5. Размеры вдувного отверстия	163
4.3.6. Зоны продувки катализатором и воздухом	165
Глава 5. РЕГЕНЕРАЦИЯ ХТС	166
Глава 6. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОМПОНЕНТОВ ХТС И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	179
6.1. Смеси для самотвердеющих ХТС (No-bake)	180
6.2. Смеси с фенолоформальдегидными смолами, отверждаемые эфирами	185
6.3. Связующее для процесса Cold-box-amine	194
6.4. Эпокси-акрилатное связующее для Ероху-SO ₂ -процесса	202
6.5. Фенольное связующее для процесса Resol-CO ₂	204
6.6. Фенол в отвалах ХТС	206
Глава 7. ПРОТИВОПРИГАРНЫЕ ПОКРЫТИЯ	208
Глава 8. ДЕФЕКТЫ ОТЛИВОК, ЗАВИСЯЩИЕ ОТ СВОЙСТВ СМЕСЕЙ И ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ	232
8.1. Свойства формовочных смесей, влияющие на образование дефектов	232
8.2. Причины возникновения дефектов	234
Глава 9. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ХТС	241
9.1. Массовое производство отливок из алюминия	241
9.2. Массовое производство блоков цилиндров легковых автомобилей	244
9.3. Единичное и мелкосерийное производство	250
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	256

Глава 1

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ И ФОРМ ИЗ ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ

1.1. ВИДЫ СМЕСЕЙ И ПРОЦЕССОВ. НОМЕНКЛАТУРА СВЯЗУЮЩИХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Холоднотвердеющие смеси (ХТС) и технологические процессы, основанные на их применении, за последние 10–15 лет стали основными в изготовлении стержней и форм при единичном и серийном производстве в промышленно развитых странах. И в России идет процесс внедрения ХТС взамен смесей, упрочняющихся при тепловой обработке в сушилах или за счет теплоты нагретой оснастки. Эти процессы используют при изготовлении отливок практически любой конфигурации из черных и цветных сплавов, они могут быть адаптированы к различным требованиям по производительности, качеству (включая чистоту, размерную и массовую точность, товарный вид и др.), возможностям инвестиций, экологическим и климатическим условиям, квалификации персонала.

Перечень технологий изготовления ХТС, рассматриваемых в данной книге, приведен в табл. 1.

В передовых по технологическому уровню странах: США, ФРГ, Японии, Великобритании, Франции, Италии и др. – полностью исключено применение формовочных смесей с глиной (табл. 2), кроме песчано-бентонитовых смесей для сырых форм.

Песчано-бентонитовые смеси для сырой формовки (далее ПГС) сохраняют лидирующие позиции преимущественно в изготовлении мелких и средних форм в массовом и крупносерийном производстве (автомобилестроение, транспортное машиностроение, сантехоборудование и др.). Представляют интерес общие данные о структуре применения технологий ХТС и объеме потребления связующих в США за 2000 г. (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что объем использования синтетических смол в литейном производстве весьма велик. При этом образуется от 30 до 40 % (по массе) токсичных продуктов в виде газов и конденсата, значительная часть продуктов деструкции остается в отработанных смесях. Общая номенклатура процессов с применением ХТС приведена в табл. 4.

1. Российские и зарубежные названия процессов изготовления стержней и форм

№ п/п	Российское название	Зарубежное название	Краткая характеристика связующего
1	Аминовый процесс	Cold-box-amine	Фенольно-изоцианатная композиция, отверждаемая газообразным амином
2	Смола-CO ₂	Resol-CO ₂	Фенольно-щелочная смола, отверждаемая продувкой углекислым газом
3	Эпокси-SO ₂	Ероху-SO ₂	Эпокси-алкидная композиция, отверждаемая продувкой сернистым ангидридом
4	Альфа-сет-процесс	Alfa-set (α-set)	Самотвердеющая фенольно-щелочная смола, отверждаемая смесью органических эфиров
5	Бета-сет-процесс	Beta-set (β-set)	Фенольно-щелочная смола, отверждаемая газообразным метилформиатом
6	Пеп-сет-процесс	Рер-set	Самотвердеющая фенольно-изоцианатная композиция, отверждаемая жидким амином пиридиновой группы
7	СО ₂ -процесс	СО ₂ -process	Жидкое стекло, отверждаемое продувкой углекислым газом
8	Самотвердеющие смеси	Процессы No-bake, или связующие с индексом NB	Фурановые, карбамидно-фурановые, полиуретановые смолы, отверждаемые органическими кислотами, смесью кислот, смесью эфиров, аминами
9	Смеси, отверждаемые продувкой	Связующие №№ 1, 2, 3, 5, 7 с индексом СВ	—

2. Доля технологического процесса в общем объеме изготовления стержней в Германии

Процесс	Доля в общем объеме, %
Cold-box-amine	48
Горячие ящики	8
Теплые ящики	5
Croning (оболочковые стержни и формы)	8
Ероху-SO ₂	5
Resol-CO ₂	7
Cold-box-MF	3
CO ₂ -процесс (жидкое стекло)	8

Примечание. Не указаны отдельно процессы с применением самотвердеющих смесей на базе синтетических смол кислотного отверждения и других связующих (жидкостекольных, фосфатных), которые постоянно применяют для изготовления средних и крупных стержней.

3. Доля применяемых технологий и потребление связующих в США

Процесс	Доля в литейной промышленности, %	Потребление связующих для данного процесса, т/год
Croning	17,8	22 000
CO ₂ -процесс и ХТС с жидким стеклом	9,5	11 400
Горячие ящики	8,2	9 800
ХТС с синтетическими смолами (все виды)	16,4	20 000
Рер-set	13,6	16 300
Cold-box-amine	21,9	26 000
Прочие (Alfa-set, Beta-set, теплые ящики, Ероху-SO ₂ и др.)	12,3	14 700
Итого		120 200

4. Номенклатура процессов изготовления стержней и форм с применением ХТС

Тип смеси	Базовая связующая композиция	Основная область применения
Самотвердеющие		
ХТС с синтетическими смолами: фурановые фенольные карбамидные смешанные	Смолы кислотного отверждения	Стержни, средние и крупные формы, все сплавы
ХТС с жидким стеклом	Жидкое стекло с двухкальциевым силикатом, цементом, сложными эфирами	Стержни, средние и крупные формы, чугунное и стальное литье
ХТС с фосфатными связующими	Оксиды железа и магния, ортофосфорная кислота	Стержни, средние и крупные формы, чугунное и стальное литье
Perp-set	Фенольно-изоцианатная композиция с жидким амином	Средние и крупные стержни и формы, все сплавы
Alfa-set	Щелочная фенольная смола со смесью эфиров	Средние и крупные стержни и формы, стальное и чугунное литье
Отверждаемые газовым отвердителем (катализатором)		
Beta-set или Cold-box-MF	Щелочная фенольная смола с продувкой метилформиатом	Мелкие и средние стержни, чугунное и стальное литье

Окончание табл. 4

Тип смеси	Базовая связующая композиция	Основная область применения
Resol-CO ₂	Щелочная фенольная смола с продувкой углекислым газом	Средние и крупные стержни, чугунное и стальное литье
Ероху-SO ₂	Эпокси-акрилатная композиция с продувкой сернистым ангидридом	Мелкие и средние стержни в массовом и крупносерийном производстве, чугунное и цветное литье
Cold-box-amine	Фенольно-изоцианатная композиция с продувкой третичным амином	Мелкие и средние стержни в массовом, крупносерийном производстве, все сплавы

Приведенные в табл. 4 виды ХТС разделены по характеру упрочнения на две группы. *Первая* – самоотвердеющие смеси, в которые при перемешивании введены все компоненты связующей композиции, в том числе катализатор или отвердитель, а также специальные добавки. Для этих смесей весь период формирования прочности включает два периода: индукционный и основной. В течение индукционного периода внешние технологические свойства смеси (прочность, текучесть) не меняются, хотя фактически уже идет первая стадия – химическое взаимодействие компонентов связующего. В первом приближении этот период совпадает с живучестью, т.е. временем возможной выдержки готовой смеси до уплотнения без изменения прочности при отверждении.

Вторая группа – это смеси, отверждаемые внешним газообразным реагентом, например третичным амином, углекислым газом или метилформином. Характер формирования прочности для смесей этого типа зависит от природы связующей композиции, но уже сразу после завершения продувки уровень прочности является достаточным для извлече-

ния из оснастки и последующих технологических операций (манипуляторная прочность).

В обоих случаях прочность характеризуется несколькими показателями для определенных периодов времени, например сразу после продувки и далее через 1, 4, 24 ч выдержки испытательных образцов на воздухе при фиксируемых температуре и относительной влажности.

Кроме компонентов связующего для ХТС разработаны и поставляются вспомогательные технологические материалы, необходимые для реализации основных элементов технологического процесса. К ним относятся противопопригарные покрытия, разделительные покрытия, клеи для монтажной склейки и ремонта стержней и форм, средства для очистки оснастки, некоторые добавки, улучшающие свойства, например выбиваемость смесей с жидким стеклом, склонность смесей к просечкам и др.

Подробнее технологические и экологические характеристики материалов будут приведены в соответствующих главах. Ниже приведены основные российские и зарубежные производители связующих и вспомогательных материалов.

В России ведущим и крупнейшим производителем литейных связующих композиций является ОАО "Уралхимпласт" (г. Нижний Тагил). Это предприятие более 50 лет производило все разновидности литейных химических продуктов. В 2006 г. на базе "Уралхимпласта" и специализированной итальянской фирмы "Кавенаги" (Cavenaghi), являющейся одним из европейских лидеров в этой области, создано совместное предприятие "Уралхимпласт–Кавенаги". Оно служит разработчиком и поставщиком материалов для ХТС более чем для сотни российских заводов. Для процессов типа Cold-box "Уралхимпласт–Кавенаги" выпускает ряд представленных ниже материалов.

В скобках приведены итальянские названия продуктов.

"РЕЗАМИН СВ" ("GIOCA СВ") – фенольно-изоцианатная трехкомпонентная система, быстроотверждаемая, применяемая для отверждения стержней и форм; катализатор – третичный амин в газообразном виде.

"АЛКАСЕТ СВ" ("ALKAFEN СВ") – щелочная малотоксичная фенолоформальдегидная смола и сложноэфирный отвердитель – газообразный метилформиат, обеспечивает манипуляторную прочность сразу после продувки.

"ЭПАКРИЛ СВ" ("EPOSET") – эпокси-акрилатная смола, отверждаемая диоксидом серы.

"РЕЗОФЕН СВ" – щелочная малотоксичная фенолоформальдегидная смола, отверждаемая углекислым газом.

"РЕЗАМИН NB" ("RAPIDUR") – трехкомпонентная система: фенолоформальдегидная резольная смола, изоцианатный компонент, катализатор – жидкий амин.

"АЛКАСЕТ NB" ("ALCAFEN") – высокощелочная малотоксичная фенолоформальдегидная смола и жидкие сложноэфирные отвердители с заданной живучестью для процесса Альфа-сет.

"КАТАЛИТ" ("ALCADUR") – группа сложноэфирных отвердителей для процесса Альфа-сет.

"РЕЗОФОРМ NB", КФ 65-С, ФФ-65С ("GIOCA NB") – карбамиднофурановые, или фенолофурановые, или полифуриловые смолы, катализатор – паратолуолсульфокислота, бензолсульфокислота или ортофосфорная кислота с регулируемой живучестью и скоростью отверждения.

"ФЕНОСЕТ NB" ("COROFEN") – фенольная смола с азотом или без него, отверждаемая кислотными катализаторами для изготовления стержней и форм для стального и чугуна.

В настоящее время на российском рынке присутствуют несколько зарубежных фирм – традиционных разработчиков и производителей связующих, противопожарных красок, вспомогательных материалов для основных видов ХТС: Huttenes-Albertus (Германия), Bakelite (Германия), Furtenbach (Австрия), Borden (Великобритания), Ashland (США), Ashland-Sudchemie (Германия), Speform (Германия), "Jinan shengquan group share holding" (Китай), Fosco (Великобритания).

У этих фирм близкие по качеству и свойствам продукты имеют различные коммерческие товарные знаки. Их, как правило, поставляют российские посреднические группы или представители в России.

Существуют также производители и поставщики связующих, противопожарных красок, наполнителей в Финляндии, Норвегии, Дании, Швеции. Как правило, их продукцию применяют предприятия северозападного региона России.

1.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

1.2.1. Прочность

Важнейшим технологическим свойством смесей и, соответственно, стержней и форм является прочность. От уровня прочности и закономерностей ее формирования зависят производительность труда на операциях изготовления форм и стержней, сборки, выбивки, качество отливок (прежде всего размерная и массовая точность), вероятность образования

5. Примеры дефектов форм, стержней и отливок

Вид дефекта формы или стержня	Причина образования	Вид дефекта отливки	Причина образования
При нормальной температуре		При взаимодействии формы и металла	
Поломки стержней при извлечении из оснастки, транспортировке, сборке	Низкая прочность, высокая хрупкость, неравномерность свойств по объему	Подутость	Повышенная пластичность
Осыпаемость стержней и форм	Низкая поверхностная прочность	Прорыв металла	Недостаточная прочность формы
Поломки после длительного хранения	Разупрочнение при хранении, внутренние напряжения 2-го рода	Нарушение размерной точности	Повышенная пластичность формы
Отрыв элементов формы при протяжке модели	Низкая прочность, высокая хрупкость	Ужимины	Низкая прочность в зоне конденсации, термические напряжения
Отслоение или разупрочнение поверхностного слоя при окраске	Низкая прочность смеси, пропитанной покрытием	Пригар	Низкая термостойкость формы

многих видов литейных дефектов и, в конечном счете, сама технология. Естественно, история создания некоторых новых процессов литья представляет собой историю разработки новых формовочных материалов с определенными прочностными свойствами.

Например, создание автоматических формовочных линий производительностью 250...300 форм/ч и выше стало возможным благодаря разработке высокопрочных песчано-бентонитовых смесей. Появление в

6. Объемная концентрация контактов в формовочных смесях

Плотность смеси, г/см ³	Число зерен n в 1 см ³	Координационное число	N_V , шт/см ³
1,4	$1,27 \cdot 10^{-5}$	6,3	$4,0 \cdot 10^{-5}$
1,5	$1,36 \cdot 10^{-5}$	7,0	$4,7 \cdot 10^{-5}$
1,6	$1,45 \cdot 10^{-5}$	8,0	$5,8 \cdot 10^{-5}$

последние годы механизированных комплексов изготовления средних и крупных форм, в том числе безопочных, стало возможным при появлении фурановых ХТС с низким (около 1 %) содержанием связующего при весьма высокой прочности и регулируемой скорости отверждения.

Прочность формы (стержня) как конструкции – это ее способность сопротивляться разрушению или деформированию под действием внешних нагрузок или внутренних напряжений.

Нагрузки могут быть кратковременными (например, протяжка модели) или длительными (собственная масса стержня в собранной форме), статическими (давление залитого металла или усадочных напряжений) или динамическими (выбивка формы на решетке). Специфическими для условий литейного производства являются температурные напряжения при нагреве и охлаждении. Прочность формы зависит от ее размеров и конфигурации, прочности собственно формовочного материала, силового взаимодействия формы с элементами оснастки.

Механические свойства смесей должны отвечать определенному уровню, который диктуется конфигурацией отливки, видом сплава, особыми требованиями к качеству. В табл. 5 приведены некоторые примеры дефектов, возникновение которых связано с отклонениями механических свойств.

Прочность формовочной смеси, которая по параметрам является скелетной коллоидной системой, определяется двумя параметрами – прочностью связи между зёрнами наполнителя в зоне контакта p и числом реализованных контактов, приходящимся на единицу объема N_V .

Кроме объемной концентрации контактов N_V , определяющую роль играет концентрация контактов, отнесенная к единице поверхности разрушения N_S . Расчетные данные о значениях N_V для монофракционного песка со средним радиусом зерна $r_{cp} = 0,1$ мм приведены в табл. 6.

Ниже приведены результаты расчетов концентрации контактов для нескольких монофракционных песков.

Средний размер зерен песка, мм	0,1	0,16	0,2	0,32	0,4
N_V , шт/см ³	$37,8 \cdot 10^5$	$9,2 \cdot 10^5$	$4,7 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^5$	$0,5 \cdot 10^5$
N_S , шт/см ³	$10,5 \cdot 10^5$	$4,06 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^5$	$1,15 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^5$

Формально прочность (при $\delta = \frac{V_y}{S_y} = \text{const}$, где V_y – удельный объем

связующей композиции, см³ на 1 г смеси; S_y – удельная поверхность песка, см²/г) должна быть пропорциональна N_S при растяжении или N_V при более сложных видах нагружения (сжатии, изгибе). Эти величины, в свою очередь, вычисляются по данным гранулометрии, которые при ориентировочных расчетах могут быть представлены средним диаметром зерна песка d_{cp} , определяемым графически по кривой распределения. При изменении d_{cp} одновременно с N изменяются геометрия манжет и плотность упаковки: последняя уменьшается с уменьшением d_{cp} . В результате рост прочности может оказаться меньше ожидаемой величины.

Большое влияние степени уплотнения на прочность связано главным образом с изменением геометрии манжет при сближении зерен в контактах. Рост числа контактов играет в этом случае подчиненную роль.

При неизменной средней толщине пленки связующего во всех случаях наблюдается существенное влияние N_V или N_S на прочность при соответствующем виде нагружения, хотя это влияние не представляется возможным обобщить в количественной форме.

Микроструктурные наблюдения показывают, что из структурных факторов на прочность сильнее всего влияет геометрия манжет. Даже при значительном увеличении N прочность резко падает при уменьшении δ . Отсюда следует, что измельчение зернового состава без изменения содержания связующего будет приводить к потере прочности и наоборот. Этим, в частности, объясняется повышение прочности при переходе на крупнозернистые пески, чего, естественно, не происходит при вакуумной формовке, где в форме нет связующего.

Одним из важнейших в теоретическом отношении и для практики является вопрос о роли адгезии в паре "связующее–наполнитель" и когезии самого связующего. Чтобы иметь представление о связи физико-химических свойств связующего и поверхности песка, с одной стороны, и прочностью смеси, с другой, нужно знать характер разрушения в реальной зоне. Реальное разрушение, как правило, бывает смешанным. Для ХТС с синтетическими смолами преобладает адгезионный тип, с жидким стеклом – когезионный. При адгезионном разрушении мероприятия, способствующие росту адгезии, например отмывка песка, улучшение смачивания за счет введения ПАВ, силанизация смол, столь же эффективны, как и те, которые связаны с упрочнением самих связующих – увеличение содержания фурилового спирта в карбамидно-фурановых смолах и др.

Определенное влияние на прочность ХТС и других видов смесей оказывают внутренние напряжения, которые уравниваются в пределах пары "зерно наполнителя – пленка связующего". Они уравниваются в каждом элементе адгезионными и когезионными силами и могут снижать прочность каждого структурного элемента и изделия – стержня или формы – в целом.

Причиной возникновения напряжений является, как правило, усадка связующего в процессе отверждения. Усадочные напряжения возникают вследствие испарения растворителя, свободных мономеров, воды, продуктов, образующихся при сшивке полимера, химической усадки, возникающей при образовании новых структур. Напряжения растут по мере развития усадки и роста модуля упругости. У ХТС максимальный уровень внутренних напряжений достигается через 4...6 ч, когда завершается процесс отверждения и жесткость связующего становится максимальной.

Основное влияние оказывают природа связующего и режим отверждения. Напряжения тем больше, чем выше скорость упрочнения. Смеси с полиуретановыми связующими довольно пластичны, скорость отверждения этих смесей мало влияет на прочность. ХТС с конденсационными смолами (фенольные, фурановые) менее пластичны. Для них зависимость прочности от скорости отверждения имеет экстремальный характер (рис. 1), так как при содержании катализатора выше оптимального рост напряжений опережает рост прочности.

По этой же причине введение пластификаторов в смолы препятствует образованию перенапряженных структур и обеспечивает повышение прочности.

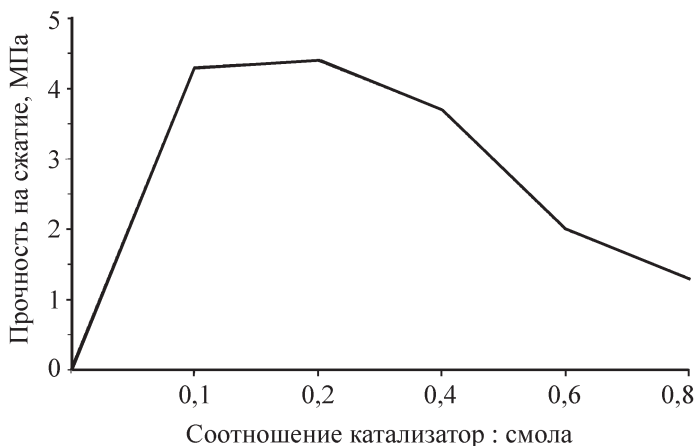


Рис. 1. Зависимость прочности ХТС с фенолофурановой смолой ФФ-1Ф от соотношения катализатор : смола

ХТС разрушаются как типичные хрупкие тела при весьма малых деформациях. В первом приближении ХТС подчиняются закону Гука вплоть до разрушения (рис. 2).

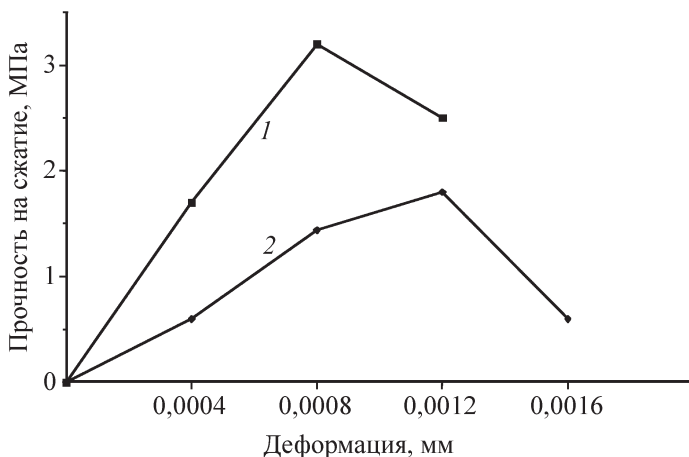


Рис. 2. Диаграмма разрушения ХТС:
 1 – связующее – 6 % ЖС; 2 – 2 % фенольной смолы
 с бензолсульфокислотой



Рис. 3. Зависимость прочности смеси на изгиб от соотношения прочностей на изгиб и разрыв

В процессе химического упрочнения ХТС проходят несколько стадий, достаточно быстро по мере роста прочности превращаясь из пластичного материала в хрупкий. В технологическом отношении этот переход весьма важен, так как по мере снижения деформации разрушения с течением времени от начала отверждения растет вероятность появления поломок при извлечении стержня из ящика или модели из формы. Таким образом, операцию протяжки нужно проводить при достижении оптимального значения прочности (и, следовательно, пластичности) для данного вида смеси. Количественным показателем хрупкости смеси или обратной ей пластичности является значение деформации разрушения ε_p при определенном виде нагружения, например при растяжении, изгибе или разрыве стандартного образца. Этот показатель является мерой хрупкости (пластичности) определенного вида смеси. При изгибе он является наибольшим у ХТС со смолами (0,002...0,025), значительно меньшим – у ХТС с жидким стеклом (0,001...0,015).

Для количественной оценки хрупкости в лабораторной практике может служить следующий критерий – отношение прочности на сжатие к прочности на разрыв. В исследовательской и лабораторной практике прочность обычно измеряют при разрыве и изгибе стандартных образцов. На практике результаты исследований, рекламные данные и т.д. при-

водят для разных видов прочности. Установлено, что для различных ХТС соотношение между этими показателями не только различно, но и зависит от абсолютного уровня прочности. На рис. 3 приведен пример полученных экспериментально показателей прочностей для смесей по процессу Cold-box-amine на основе ряда связующих.

Из рис. 3 видно, что даже при разных уровнях прочности соотношение меняется в широком интервале. В среднем для такой композиции, чтобы получить прочность на разрыв, необходимо показатель прочности на изгиб разделить на 2,5...3.

1.2.2. Живучесть

Живучесть – это время, в течение которого смесь способна сохранять общую и поверхностную прочность (или определенный уровень прочности) после окончания смесеприготовления при хранении готовой смеси в заданных условиях.

К условиям относятся температура и влажность в помещении, особенности смесеприготовления, контакт смеси при хранении с окружающей средой или изоляция от нее.

Этим свойством обладают практически все ХТС, в которых при хранении могут самопроизвольно протекать процессы физико-химического взаимодействия компонентов друг с другом или с окружающей средой.

Различают несколько инструментальных способов определения живучести.

1. Определяют изменение прочности в зависимости от выдержки готовой смеси в период от окончания перемешивания до изготовления образцов через определенные промежутки времени, например 3; 5; 10 мин и т.д. За живучесть принимают время, соответствующее снижению прочности более чем на 15...30 %. Если о живучести судят по изменению осыпаемости, то максимально допустимое ее значение следует принимать равным 0,1...0,15 %.

Для самотвердеющих смесей определяют прочность, соответствующую выдержке образцов в течение периода, выбранного с учетом особенностей данного производства, находящегося в интервале 2...24 ч. При этом достаточно надежной является выдержка в течение 3...4 ч. Для смесей, отверждаемых газовыми катализаторами, определяют прочность сразу после продувки или после выдержки в течение 3...4 ч.

2. Определяют уплотняемость по изменению высоты образца после трех ударов копра при постоянной массе навески 150...160 г. Живучесть находят по точке перегиба на кривой зависимости уплотняемости от времени, что соответствует потере прочности не более чем на 20...30 %.

3. Определяют изменение насыпной массы или формуемости в зависимости от времени выдержки неуплотненной смеси; живучесть находят по точке перегиба на полученной кривой.

1.2.3. Текучесть

Текучесть характеризует внутреннее трение или сопротивление сдвигу смеси при ее деформации в направлении, перпендикулярном к приложению нагрузки. Для ХТС традиционные методы уплотнения при изготовлении стержней и форм заменены свободной засыпкой с последующим ручным подуплотнением или вибрацией. В этих условиях под текучестью следует понимать способность смеси качественно заполнять объем оснастки. Это предполагает отсутствие рыхлот и получение в любой зоне удовлетворительной плотности, которая для смесей этого типа составляет 1,50...1,55 г/см³. Сопротивление сдвигу S для связно-сыпучей среды приближенно можно описать законом Кулона:

$$S = ptg\varphi + c,$$

где p – нормальное давление; φ – угол внутреннего трения; c – связность (или сцепление).

Сцепление зависит от физико-химических свойств связующего – вязкости, поверхностного натяжения и др. Угол внутреннего трения зависит преимущественно от свойств самого наполнителя – пористой структуры смеси, формы зерен. Для ХТС значения S и c близки. Поэтому текучесть можно оценивать по прочности в исходном состоянии. Из практики известно, что смеси с прочностью в исходном состоянии до 0,05...0,1 кг/см² можно отнести к сыпучим, остальные – к пластичным.

Для оценки текучести используют определение сыпучести. Здесь смесь (навеска массой 300 г) помещают в стандартный ситовой барабан с размером ячейки сита 2,5 мм. Барабан вращают в течение 10 с с частотой 60 мин⁻¹. Текучесть определяют как отношение массы просыпи смеси к исходной навеске.

Последние годы на отечественных заводах применяют другой метод, близкий по смыслу предыдущему. Текучесть измеряют с помощью специального приспособления конструкции ЗИЛа.

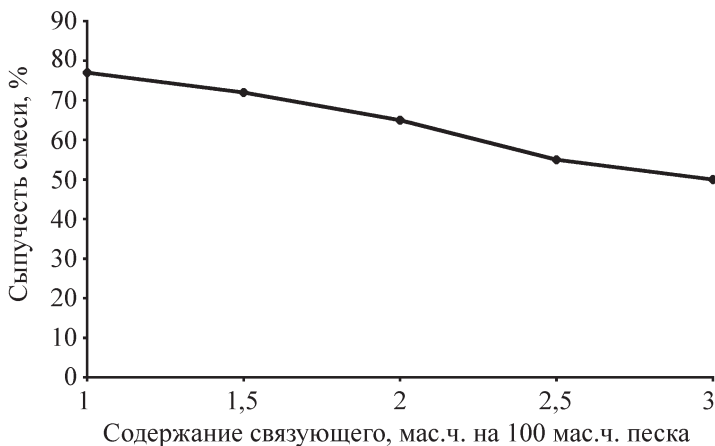


Рис. 4. Сыпучесть ХТС с фенольной смолой

На рис. 4 показана зависимость сыпучести (текучести) от определяющего технологического фактора – содержания связующего.

1.2.4. Кислотная потребность (ADV – Acid demand value)

Кислотная потребность (КП) – количество кислоты, необходимое для нейтрализации щелочи, содержащейся в смеси.

Оборудование, необходимое для определения КП:

весы с точностью до 0,01 г;

колба 250 мл;

цилиндр градуированный на 50 мл;

буферный раствор, который нужен при работе с рН-метром;

дистиллированная или деионизированная вода;

магнитная мешалка со смешивающим органом;

0,1 нормальный (0,1-N) раствор NaOH;

0,1-N раствор HCl;

термометр;

таймер на 5 мин;

бюретка на 50 мл.

Порядок определения КП:

настроить рН-метр;

довести температуру компонентов до 19...25 °С;

взять навеску песка массой 50 г;

загрузить песок в колбу и добавить 50 мл воды;

с помощью бюретки добавить 50 мл 0,1-N раствора HCl и перемешать 5 мин;

заполнить вторую бюретку 0,1-N раствором NaOH, удалить вовлеченный воздух и закрыть запорный кран;

опустить электроды рН-метра в мешалку, не перемешивая раствор;

добавить 0,1-N раствор NaOH из бюретки до показания рН-метра "7" в течение 3 с: сначала быстро, а после достижения отметки "7" – медленно, по каплям; если титрование проходило более 3 мин, повторить испытание;

записать количество пошедшего на титрование раствора NaOH.

Пример расчета

Нормальность NaOH = $\frac{50,0 \cdot 0,1}{50,2} = 0,0996$, где 50,0 – объем HCl, мл;

0,1 – нормальность HCl; 50,2 – объем NaOH, требуемый для титрования до рН = 7.

$$ADV = (AB) - \left(\frac{CD}{0,1} \right),$$

где $A = 50$ – объем HCl, мм; $B = 0,1$ – нормальность HCl; C – объем NaOH, требуемый для титрования до рН = 7,0, $C = 45,2$ мл; $D = 0,0996$ –

нормальность NaOH. $ADV = (50 \times 0,1) - \left(\frac{45,2 \cdot 0,0996}{0,1} \right) = 4,98$ мл.

1.2.5. Высокотемпературные свойства

Для определения этой группы свойств в лабораторных условиях требуются dilatометр с возможностью нагрева до 1000...1200 °С и раздельного измерения прочности, напряжений, деформации, муфельная печь с температурой нагрева до 1000...1200 °С, сушильный шкаф, огнеупорные тигли и пластины, рукавицы для горячих объектов, весы, оснастка и приспособления для изготовления образцов.

Термостойкость и горячая прочность. *Термостойкость смеси* (τ_t) – это время сохранения ею прочности при определенных условиях нагружения и нагрева; *горячая прочность* (σ^t) – абсолютное значение прочности образца, быстро или медленно нагретого до определенной температуры.

Оба эти свойства являются в основном функцией от термостойкости связующей композиции и теплофизических свойств песка (теплоаккумулирующей способности b , теплопроводности λ и температуропроводности a).

Само понятие «термостойкость» сформировалось в связи с применением в качестве связующих синтетических смол, которые при нагреве подвергаются деструкции со значительной потерей массы. О термостойкости можно судить с помощью методов термического анализа затвердевшей связующей композиции – полимера. Критериями являются коксовое число и термогравиметрическая кривая, полученная для отвержденных полимера или смеси. Указанная кривая и ее характерные точки приведены в работе [3].

Для условной количественной оценки используют несколько показателей: A – точку 50%-ной потери массы; B – точку остатка массы при 400 °С; C – точку остатка массы при 600 °С и др. Весь процесс деструкции проходит в интервале температур 20...1500 °С.

На первой стадии, примерно при 20...200 °С, происходит удаление связанной воды и свободных компонентов связующей композиции (растворители, формальдегид, фенол и др.). На второй стадии, при 200...700 °С, развивается и в основном завершается процесс карбонизации полимера. Содержание углерода в связующих повышается до 80...90 %. Образуется полужелезо, который представляет собой полимерное сочетание конденсированных ароматических углеродных слоев и связывающих их боковых углеродных цепочек. На третьей стадии (свыше 700 °С) угольная структура кокса меняется. Например, в окислительной среде кокс полностью газифицируется; в восстановительной или нейтральной атмосфере увеличиваются размеры ароматических слоев, возрастает доля углерода, упорядоченного в слои, одновременно удаляются водород и кислород. Этот процесс представляет собой постепенный переход от структуры кокса к более устойчивой форме – графиту.

Термостойкость складывается из периода деструкции и периода существования кокса, который некоторое время сохраняет функции связующего. Прочность в конце карбонизации составляет 20...30 % от начального значения. Коксовые числа у фенольных и фенолофурановых

связующих ХТС составляют 50...55 %, карбамидно-фурановых 30...40 %, карбамидных 4...8 %. В реальных условиях в смесях складывается преимущественно окислительная атмосфера, в результате чего кокс может полностью окислиться. Поэтому в поверхностном слое формы или стержня после охлаждения отливки практически отсутствует углерод.

Механизм проявления термостойкости ХТС, содержащих органические связующие, представляется следующим. Через несколько секунд после заливки металла смесь в поверхностном слое толщиной 5...7 мм нагревается до 1000 °С и более, проходя в основном интервалы карбонизации; при нагреве между зёрнами сохраняются коксовые манжеты. При 700...800 °С заканчивается образование неупорядоченного кокса. При высокотермостойком связующем его количества и прочности достаточно для сопротивления давлению жидкого металла в течение времени τ_r . При смоле с низкой термостойкостью эти показатели находятся на невысоком уровне, и уже при 700 °С начинается образование пригара вследствие свободного перемещения несвязанных зёрен. При высокой термостойкости смолы в интервале 700...1200 °С из нее удаляются водород и кислород, однако скорость окисления мала и корочка на поверхности отливки образуется раньше, чем разрушится смесь. В табл. 7 приведены опытные данные о термостойкости некоторых видов ХТС. Данные получены на образцах диаметром 11 мм, высотой 20 мм, при нагрузке 0,35 МПа и температуре 1000 °С.

7. Термостойкость некоторых видов ХТС

Тип связующего	Содержание фурилового спирта в связующем, %	τ_r , с
Карбамидно-фурановое	28	24
	34	50
	43	150
	47	167
	52	170
Фенолофурановое	33	135
	37	140
Фенольное	—	107

Определение термостойкости песчано-смоляных ХТС проводят путем выдержки образца в интервале температур 600...1000 °С и нагрузке на образец 0,15...0,45 МПа, имитирующей условно давление жидкого металла. Ниже приведена зависимость τ_t от температуры печи, выбранной для испытаний, при нагрузке 0,4 МПа:

Температура печи, °С.....	600	800	1000	1200
τ_t , с, со смолой:				
фурановой.....	260	137	74	70
фенольной.....	290	106	28	9

Существует определенная зависимость между термостойкостью и исходной прочностью. Для примера ниже приведена такая зависимость для ХТС с одной из фенольных смол:

$\sigma_{сж}$, Мпа	1,4	3,2	3,6	2,8	3,1	2,1	2,0
τ_t , с.....	210	750	740	710	720	375	340

Термостойкость зависит и от вида наполнителя. Для кварцевого песка, дистен-силлиманита, циркона и рутила она составляет 74, 240, 340, 400 с соответственно.

Горячую прочность определяют после выдержки образца при заданной температуре. Продолжительность выдержки устанавливают равной времени прогрева центра образца до температуры печи или другой заданной температуры.

Для песчано-смоляных ХТС время выдержки нужно задавать меньше, чем τ_t , в противном случае прочность будет близка к 0.

Зависимость температуры в центре образца, определенная на dilatометре из комплекта приборов G.Fischer, от времени выдержки выглядит следующим образом:

Продолжительность нагрева образца, мин	12	24	38	55	95
Температура в центре образца, °С	200	400	600	800	1000

Для определения любых высокотемпературных свойств результат должен сопровождаться описанием методики, в которое входят размеры и технология изготовления образца, параметры dilatометра, способ нагрева (с печью или методом шока), источник нагрева, характер и уровень нагружения образца. Из-за различий в этих показателях приводимые в печати или рекламе данные могут сильно различаться и приемлемы только при сравнении свойств, полученных по одинаковой методике.

Термические напряжения. Термическое расширение. Трещиностойкость. Измерение термических напряжений осуществляют на цилиндрических образцах диаметром от 11 (дилатометр G.Fischer) до 50 мм (дилатометр фирмы Dietert, прибор УС-700 ЦНИИТМАШа и др.). Для этого определяют нагрузку, которую необходимо приложить для преодоления расширения образца вдоль оси. Величина напряжений зависит от природы и гранулометрического состава наполнителя, высокотемпературных свойств связующего, режима нагрева, степени уплотнения, размеров образца.

При определении напряжений учитываются такие факторы, как скорость нагрева, скорость приложения нагрузки, распределение температуры по сечению образца. С учетом того что возникновение поверхностных дефектов связано с процессами в пограничном слое формы или стержня толщиной 20...30 мм, для исследования напряжений температурный интервал может составлять 450...1200 °С при скорости нагрева 500...3000 °С/мин. О склонности смесей к термическим напряжениям и, соответственно, "дефектам расширения" можно судить по свободному термическому расширению песков или смесей [1].

Некоторые результаты измерений для двух видов ХТС приведены в работе [1]. Поликонденсационные смолы разрушаются при нагреве и дают так называемую хрупкую усадку, которая идет во всем интервале нагрева без размягчения. Полиуретановые смолы проходят стадию размягчения, поэтому расширение смесей со смолами этого класса меньше и они менее склонны к образованию дефектов расширения. Данные о термических напряжениях и горячей прочности позволяют определить так называемый критерий трещиностойкости (его называют также индексом термопрочности):

$$R_t = \sigma_{гор} / \sigma_t = \sigma_{гор} (1 - \mu) / E_t \alpha (t - t_0),$$

где $\sigma_{гор}$ – горячая прочность; σ_t – термическое напряжение; E_t – термический модуль упругости; α – коэффициент термического расширения; $(t - t_0)$ – температурный интервал, в котором измеряли α ; μ – деформация при сжатии.

Остаточная прочность смеси после нагрева и охлаждения $\sigma_{ост}$ характеризует ее выбиваемость. Определение $\sigma_{ост}$ при сжатии или разрыве осуществляют на стандартных образцах, которые предварительно нагревают в печи до заданной температуры, выдерживают и охлаждают вместе с печью. Продолжительность выдержки при нагреве методом термошока

влияет на $\sigma_{ост}$ тем сильнее, чем выше температура печи и, следовательно, скорость нагрева.

Чаще всего выбиваемость определяют для смесей с жидким стеклом или для песчано-смоляных ХТС, применяемых в производстве сложных стержней для алюминиевого литья. Зарубежные фирмы, производящие жидкостекольное связующее с добавками, улучшающими выбиваемость, указывают остаточную прочность при сжатии или изгибе после прогрева до температур 400, 600, 800 и 1000 °С и медленного охлаждения с печью.

Наряду с прямыми измерениями остаточной прочности используют технологические пробы, в которых образец пробивают или просверливают после нагрева и охлаждения в гильзе или опытной отливке с переменным соотношением толщин стержня и отливки. В этом случае мерой выбиваемости является работа выбивки (методика ЦНИИТМАШа), время сквозного сверления залитого стержня и т.д.

Принято считать, что при $\sigma_{ост} < 1,5...2$ МПа смесь выбивается удовлетворительно, при $\sigma_{ост} > 3$ МПа – плохо. При использовании технологических проб, максимально отражающих условия получения конкретной номенклатуры, имеет значение не только остаточная прочность, но и сила сжатия стержня под влиянием усаживающейся отливки. Эта сила затрудняет выбивку.

В табл. 8 для примера приведена выбиваемость, определенная по времени высверливания стержня после охлаждения алюминиевой отливки с внутренним стержнем сечением 25×25 мм.

8. Выбиваемость ХТС из алюминиевой отливки

Отношение: толщина стенки отливки/толщина стержня	Номер смеси				
	Время высверливания, с				
	1	2	3	4	5
0,14	48	34	26	26	28
0,31	43	36	21	18	24
0,51	37	38	17	11	20
0,72	33	39	13	5	19
0,88	28	40	9	2	16

Примечание. Связующие в смесях: № 1 – жидкое стекло, продуктое CO₂; № 2 – жидкое стекло с ацетатом глицерина; № 3 – фурановая смола; № 4 – карбамидно-фурановая смола; № 5 – фенолофурановая смола.

Полной характеристикой выбиваемости должна быть зависимость прочности от температуры в интервале 200...1000 °С. Однако иногда ограничиваются более узким интервалом или определенной температурой, характерной для условий прогрева смеси в данной отливке или группы однородных отливок.

Потери при прокаливании. Показатель потерь при прокаливании (ППП) важен для оценки эффективности регенерации, степени загрязнения песков органическими продуктами, определения равномерности перемешивания смесей, анализа работы дозаторов смесителей.

Требуемое для определения ППП оборудование:

весы с чувствительностью до 0,001 г;

устройство для сушки в воздушной среде при температуре 100...110 °С;

муфельная печь с воздушной атмосферой и возможностью нагрева до 1000 °С;

огнеупорные тигли;

пластина для выпаривания;

сушильный шкаф;

огнеупорный блок для поддержки тигля или пластин.

Порядок испытаний:

подготовить репрезентативный образец массой 8...10 г; он должен быть высушен до постоянной массы при (107 ± 3) °С и охлажден с печью до комнатной температуры;

удалить магнитные материалы;

определить массу исходного продукта и тигля;

поместить образец в тигель;

поместить тигель в предварительно нагретую печь;

для алюминиевого литья температура прокалики образца смеси составляет 800...830 °С;

образец загрузить в муфель при 260 °С, а затем повышать температуру до 900...1000 °С.

через 2 ч прогрева (или времени до достижения постоянной массы) вынуть тигель и положить на огнеупор, затем поместить его в сушильную печь и охладить до комнатной температуры;

измерить массу тигля с образцом.

ППП рассчитывают по формуле, %:

$$\text{ППП} = \left(\frac{B - C}{B - A} \right) 100 ,$$

где A – начальная масса пустого тигля; B – начальная масса тигля с материалом; C – масса тигля с материалом после обжига, сушки и охлаждения.

Податливость – способность нагретой смеси деформироваться под давлением. Податливость определяет вероятность образования горячих трещин или развитие усадочных напряжений, а также размерную точность отливки.

Податливость определяют прямым измерением деформации. Для этого в температурном интервале 500...1000 °С к образцам диаметром и высотой 50 мм сразу после установки в печь прикладывают давление до 0,3 МПа. Через 15 мин его начинают повышать на 0,3 МПа через каждые 2 мин.

Пример данных, полученных при измерении высокотемпературной деформации смесей с карбамидно-фурановой смолой, приведен в работе [1]. Высокотемпературная деформация песчано-смоляных ХТС существенно отличается от ХТС с жидким стеклом. Чем выше температура испытаний, тем меньше проявляется тепловое расширение и больше сжатие вследствие деструкции манжет. Ранее податливость смеси исследовали на специальной технологической пробе – втулке с продольным утолщением. Полученные данные приведены в табл. 9 (большой балл соответствует большему размеру трещины).

9. Склонность ХТС к торможению усадки

Содержание фурилового спирта в карбамидно-фурановой смоле, %	Коксовое число связующей композиции	Прочность на сжатие после выдержки 24 ч, МПа	Оценка трещинообразования, балл
20	24	1,3	1
30	30	1,7	1
40	36	1,8	1,3
60	48	5,6	5,6

1.3. НАПОЛНИТЕЛИ

Общие характеристики наполнителей

Хромит

Химический состав, массовая доля, %: Cr_2O_3 – 46; FeO – 7,5; SiO_2 – 1,5; CaO – 0,3; Al_2O_3 – 15; MgO – 10; TiO_2 – 0,5.

Зерновой состав: модуль мелкости по American Foundry Society (AFS) 50...60; остаток менее 0,075 мм, не более 1 %.

Теплопроводность хромита на 25 % выше, чем у кварца. Охлаждение металла в зоне хромитового слоя идет быстрее, он играет роль холодильника. При нагревании расширяется слабо, не дает на отливках дефектов расширения. Материал по своей природе щелочной, требует повышенного расхода кислотного катализатора. Химически инертен, не взаимодействует с металлом.

Оливин

Качественный оливин имеет следующие характеристики: плотность 3,3 г/см³; насыпную плотность 7...1,9 г/см³; твердость по Моосу 7; ППП в восстановительной среде 0,3...0,6 %; реакцию при нагреве щелочную, рН = 9; температуру спекания 1400...1500 °С; расширение при нагреве 0,8 %.

По минеральному составу оливин является ортосиликатом магния Mg_2SiO_4 . Оливин высокого качества содержит 2...5 % пироксена, 1...2 % хлората и 3...4 % других минералов (серпентина, магнетита). Модуль мелкости оливина 50...55 по AFS.

Циркон

Физические характеристики: плотность 4,7 г/см³; насыпная плотность 2,7 г/см³; твердость по Моосу 7,5; ППП в восстановительной среде 0,1...0,3 %; реакция при нагреве слабокислая; температура спекания свыше 1500 °С; термическое расширение 0,3 %.

Химический состав (базовый минерал – силикат циркония), массовая доля, %: 65...66 ZrO_2 (включая HfO_2); 0,1...0,3 Fe в пересчете на Fe_2O_3 ; 0,1...0,3 TiO_2 ; 32,5 SiO_2 (общее); 0,2 SiO_2 (свободный).

Циркон широко применяют в Европе. Гранулометрия – около 75 AFS.

Кислотная потребность ADV при навеске смеси 50 г составляет: при рН = 3 ADV = 4 см³ 0,1-N NaOH;

pH = 4 ADV = 1,5 см³ 0,1-N NaOH;

pH = 5 ADV = 0,8 см³ 0,1-N NaOH.

Циркон обладает высокой теплопроводностью, применяется для толстостенных отливок, может быть заменой хромита. Устойчив к тепловому шоку, химически инертен.

Кварцевый песок

Физические характеристики: плотность 2,65 г/см³; насыпная плотность 1,5 г/см³; твердость по Моосу 7; удельная поверхность при 54 AFS составляет 120 см²/г; ППП при 900 °С – 0,15...0,3 %; температура спекания свыше 1450 °С; термическое расширение 1,8 %; влажность после сушки 0,1%.

Химический состав, массовая доля, %: 98...99 SiO₂; Fe₂O₃ < 0,035; Al₂O₃ < 0,16; CaO < 0,012; K₂O < 0,1.

Кислотная потребность при навеске смеси 50 г:

при pH = 3 ADV = 3 см³ 0,1-N HCl;

pH = 4 ADV = 2 см³ 0,1-N HCl;

pH = 5 ADV = 1 см³ 0,1-N HCl.

Модуль мелкости 50...55 по AFS применяется для всех видов ХТС.

Дистен-силлиманит

Физические характеристики: плотность 3,2...3,5 г/см³; насыпная плотность 1,9 г/см³; pH = 6,5...7.

Химический состав, массовая доля, %: 58 Al₂O₃; 2,5 TiO₂; 0,8 Fe₂O₃; 0,2 CaO; 0,4 MgO; 0,1 Na₂O + K₂O; 0,8 ZrO₂.

Гранулометрический состав

Размер отверстия сита, мкм 160, 100, 63

Содержание фракции, % 40, 90, 99

Дистен-силлиманит применяют для всех видов ХТС и противопопригарных покрытий.

Некоторые характеристики для основной группы наполнителей, применяемых для ХТС и противопопригарных покрытий, приведены в табл. 10 и 11.

10. Общие характеристики наполнителей

Наполнитель	Состав	Примерная температура плавления, °С	Содержание свободного кварца, %	Антипригарные свойства	Способность к шелушению	Теплопроводность
Тальк	Силикат магния	2440	1	Хорошие	Хорошая	Низкая
Кокс	Углерод, силикаты	Возгоняется	1...2	Хорошие	Хорошая	Высокая
Графит	Углерод	Возгоняется	1	Отличные	Отличная	Высокая
Кварц	Диоксид кремния	3090...3100	99	Хорошие	Отличная	Низкая
Оливин	Силикаты магния и железа	2800...3200	< 2	Слабые	Слабая	Умеренная
Кианит/муллит	Алюмосиликат	3300	5...8	Хорошие	Хорошая	Умеренная
Боксит	Высокоалюминатный огнеупор	3500	0	Очень хорошие	Очень хорошая	Средняя
Глинозем	Оксид алюминия	3700	< 1	Очень хорошие	Очень хорошая	Средняя
Циркон	Силикат циркония	4500...4620	< 1	Очень хорошие	Очень хорошая	Высокая
Магнетит	Оксид магния	5000	< 1	Очень хорошие	Хорошая	Умеренная

11. Область применения различных наполнителей

Тип отливок	Заливаемый сплав	Толщина стенки отливки, мм	Наполнитель
Из цветного сплава	Алюминий	Любая	Тальк, графит
Из цветного сплава	На медной основе		Графит, циркон
Единичные чугунные отливки	Серый и высокопрочный чугуны	20...70	Кварц, оливин, муллит, графит, боксит, тальк-магнезит
Единичные чугунные отливки	Серый и высокопрочный чугуны	Более 70	Муллит, циркон, магнезит, глинозем, боксит
Чугунные отливки – массовое производство	Серый и высокопрочный чугуны	Тонкие и средние	Кварц, слюда, оливин, тальк-магнезит, графит, тальк-графит
Изложницы	Чугун	Любая	Кокс, графит, циркон, муллит
Стальные отливки	Углеродистая сталь		Кварц, муллит, циркон, глинозем
Отливки из коррозионно-стойкой стали	Коррозионно-стойкая сталь		Боксит, циркон, глинозем
Отливки из марганцевистой стали	Марганцовистая сталь		Оливин, магнезит, глинозем

Для всех видов наполнителей необходимо проводить ситовой анализ. Чтобы сравнивать данные анализа по российскому стандарту и модуль мелкости по AFS, в табл. 12 приведен пример пересчета.

12. Пример расчета модуля мелкости по данным ситового анализа

Размер ячейки сита, мм	№ сита	Процент остатка (N)	Множитель (M)	Результат (N×M)*
2,5	6	0,00	0,03	0,00
1,6	12	0,00	0,05	0,00
1	20	0,00	0,10	0,00
0,63	30	2,00	0,20	0,40
0,4	40	2,20	0,30	0,66
0,315	50	14,40	0,40	5,76
0,2	70	34,00	0,50	17,00
0,16	100	32,70	0,70	22,89
0,1	140	13,20	1,00	13,20
0,063	200	1,50	1,40	2,10
0,05	270	0,00	2,00	0,00
Тазик		0,00	3,00	0,00
С у м м а		100,00		62,01

*Результат расчета – модуль мелкости 62 по AFS.

Для технологической оценки качества наполнителя иногда целесообразно рассчитать его внешнюю удельную поверхность, как показано ниже:

- подготовить образец песка;
 - отмыть образец;
 - высушить образец;
 - сделать ситовой анализ;
 - умножить остаток на каждом сите на фактор поверхности (см. табл. 14);
 - суммировать результаты в пределах 100;
 - умножить полученные результаты на фактор формы зерен.
- В расчете применяют коэффициенты, приведенные в табл. 13.

13. Коэффициенты для расчета внешней удельной поверхности песка

Номера сит	Основной минерал в песке			
	Кварц	Оливин	Хромит	Циркон
12	12	12	8	6
20	20	24	16	12
30	40	30	30	24
40	60	60	40	35
50	90	85	60	50
70	130	120	85	70
100	190	170	120	100
140	270	240	170	140
200	400	350	250	200
270	600	500	350	300
400	900	800	600	500

Для оценки формы зерен берут увеличивающий прибор с кратностью от 10 до 40 и образец массой 10 г. При увеличении находят 10–15 зерен в поле зрения. Сравнивают с видом зерен по эталонному снимку. Определяют, с каким видом наибольшее совпадение. Повторяют 2–4 раза в трех полях зрения. Вероятны угловатый, округлый, смешанный, подугловатый факторы формы. Значения факторов формы зерен для расчета: подугловатый – 1,4; округлые – 1,2; угловатый – 1,6; смешанные – фактор не учитывают.

Пример расчета

Наполнитель – кварц угловатый.

Значения факторов расчета приведены в табл. 14.

14. Значения факторов для расчета удельной поверхности

Сита	Остаток	Фактор поверхности	Результат
1	2	3	0,6
12	0	12	0
20	0,1	20	0,2
30	3,8	40	1,52
40	17,4	60	10,44
50	34,7	90	31,23
70	28,2	130	36,66
100	11,4	190	21,66
140	2,4	270	6,48
200	1,5	400	6,00
270	0,5	600	3,00
Тазик	0	900	0
С у м м а			~117

Расчетную удельную поверхность определяют по формуле

$$\frac{AB}{100},$$

где A – сумма показателей, $A \approx 117$; B – фактор формы зерен, $B = 1,6$.

В результате расчета получают величину удельной поверхности:
 $117 \times 1,6 = 187 \text{ см}^2/\text{г}$.

Глава 2

САМОТВЕРДЕЮЩИЕ ХТС

2.1. ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ СВЯЗУЮЩИХ

Связующие самотвердеющих ХТС способны при воздействии катализаторов или отвердителей переходить из жидкого в твердое состояние. Они образуют материал, обладающий высокими собственной (когезионной) прочностью и адгезией к песку. С точки зрения химического строения органические и неорганические связующие в затвердевшем состоянии относятся к сшитым трехмерным полимерам. Макромолекулы в них связаны ковалентными или координационными связями за счет функциональных боковых групп. Степень сшивки в зависимости от условий полимеризации или поликонденсации, например от вида и концентрации катализатора, температуры, различна.

Полимеры с высокой степенью сшивки являются термореактивными. Они имеют большую жесткость, стабильны при нагреве и нагружении, не растворяются. Их называют *термореактивными*.

Отвержденные органические поликонденсационные полимеры являются аморфными; в них существует ближний порядок в размещении частиц. Это обусловлено большим числом поперечных связей, приводящих к высокой прочности и жесткости образовавшегося полимера. В неорганических полимерах возможно образование и аморфных, и кристаллических структур, находящихся в различных соотношениях. Это характерно для фосфатных связующих, систем жидкое стекло – двухкальциевый силикат.

Процессы затвердевания большинства связующих относятся к гетерогенным, т.е. таким, которые протекают на поверхности раздела фаз или сопровождаются возникновением новой стабильной твердой фазы. Для них существует понятие реакционной зоны, или фронта реакции, разделяющего области разного состава и с разными свойствами. Фронт образуется из-за того, что диффузия реагентов или продуктов реакции идет медленно, а реакционная способность групп атомов и молекул на поверхности раздела велика.

Отверждение характеризуется как химическим превращением в пределах реакционной зоны, так и переносом вещества, необходимого для

восполнения расхода реагирующих веществ и удаления продуктов реакции. Следовательно, скорость гетерогенной реакции есть функция от скоростей химической реакции и диффузии. На разных стадиях лимитирующим может быть один из этих двух параметров: процесс идет или в диффузионной, или в кинетической области.

Для гетерогенных реакций кривые зависимости глубины реакции, т.е. доли прореагировавшего вещества, от времени имеет сигмовидную форму. Начало процесса – индукционный период – соответствует зарождению поверхности раздела и возникновению на ней зародышей новой фазы.

Образование зародышей, в свою очередь, вызывает на материнской поверхности появление новых. Далее начинается автокаталитический процесс роста числа зародышей. Таким образом, по мере возрастания количества образовавшегося продукта скорость реакции растет до максимума. Затем по мере роста и слияния ядер образуется сплошной слой твердого вещества, и реакция переходит из кинетической области в диффузионную.

Отверждение в результате взаимодействия жидких неорганических связующих с порошкообразными отвердителями (феррохромовый шлак, цементы, оксиды металлов) представляет классический пример гетерогенных (топохимических) реакций. В ХТС с ними быстро устанавливается диффузионный режим, они затвердевают относительно медленно. Отвердитель в них расходует не полностью из-за плотного слоя новообразований, через который диффузия новообразований затруднена.

При отверждении газовым катализатором фактором скорости является также его парциальное давление в порах смеси. От давления зависит скорость диффузии газа (триэтиламин, SO_2 , CO_2) в пленку связующего. Здесь существует элемент диффузионного торможения, но скорость реакции образования полимера в этих системах столь высока, что процесс на первой стадии, до извлечения стержня из ящика, является кинетическим, а при дальнейшей выдержке прочность нарастает уже в диффузионном режиме.

Механизм развития процесса с синтетическими смолами представляется несколько иным, чем с порошкообразными отвердителями. Связующая композиция в приготовленной смеси представляет собой коллоидный или полукolloидный раствор катализатора в смоле – олигомере. В кинетической области вокруг каждой группы молекул (агрегата) начинают образовываться зародыши твердой фазы. При кислотном катализе этот комплекс является донором протонов, в смесях с жидким стеклом и

эфиром на границе каждой капельки эфира начинается процесс гидролиза с зароджением частиц поликремниевой кислоты и т.д.

Таким образом, возникают твердые частицы, которые далее укрупняются за счет образования химических или водородных связей. По мере насыщения ими объема и образования твердого каркаса возникновение новых контактов между отвердителем и связующим затрудняется, и процесс переходит в диффузионную область. Однако дисперсность отверждающегося агента в жидкой системе столь велика, что эффективность его использования выше, чем при порошках. Поэтому при значительно меньших расходах достигаются более высокие значения прочности. Для таких систем скорость реакции является функцией от химической активности и температуры.

Гетерогенная природа реакций в смесях указывает на важную роль взаимной растворимости компонентов связующих, ибо от нее зависит число зародышей новой фазы и, следовательно, скорость обеих стадий процесса. Последнее объясняет известный факт: продувка смесей с фенольными или фурановыми смолами аэрозолями сильных кислот, которые плохо растворяются в смолах, не приводит к заметному упрочнению.

Литейные связующие – синтетические смолы – после завершения процесса трехмерной сшивки представляют собой термореактивные полимеры. Применительно к смолам первой стадией получения такого сшитого полимера является реакторный синтез смолы из исходных мономеров. Его ведут до получения так называемого олигомера (преполимера), т.е. промежуточного продукта, в котором поликонденсация или полимеризация не завершена.

Обязательным условием получения термореактивного полимера является реакция бифункциональных мономеров (например, альдегидов) с мономерами, имеющими функциональность выше двух (фенол, мочеви́на, фуриловый спирт и др.). Олигомер получают, прерывая реакцию синтеза путем охлаждения реакционной массы при заданном уровне свойств. Если смола имеет высокую вязкость и склонна к старению, в олигомер вводят стабилизирующие растворители – спирты, ацетон и др. Стадия, завершающая синтез термореактивного полимера, осуществляется непосредственно в смеси под влиянием катализатора, отвердителя или нагрева. Иногда необходимый мономер вводят прямо в смесь, как в фенольно-изоцианатной композиции. Из некоторых мономеров полимер получается прямо в смеси в присутствии кислотного катализатора, например при использовании фурилового спирта.

Сшитые полимеры состоят из структурных звеньев, многократно повторяющихся в пространстве сетчатой структуры.

Многие олигомеры имеют в структурных звеньях метилольные группы – CH_2OH и метилольные мостики – CH_2 как основной вид связи между звеньями. Концентрация метилольных групп в олигомере оказывает определенное влияние на скорость сшивки и прочность сшитого полимера. Для холодного отверждения концентрация метилольных групп должна быть достаточно высокой. Для смол российского производства она составляет 15...20 % и более.

2.2. ХТС С СИНТЕТИЧЕСКИМИ СМОЛАМИ

К этой категории связующих для ХТС самотвердеющего типа относятся смолы нескольких классов. Для единичного и серийного производства наиболее распространенными являются фурановые, фенолоформальдегидные и полиуретановые смолы разных типов, для массового и крупносерийного производства – полиуретановые (фенольно-изоцианатные) композиции и щелочные фенолоформальдегидные смолы.

2.2.1. Фурановые смолы

Чисто фурановые смолы. К смолам этого класса относят все смолы, содержащие в качестве основного мономера при синтезе или в качестве растворителя (стабилизатора) фуриловый спирт.

Иногда такие смолы получают методом гомополиконденсации фурилового спирта. В этом случае при синтезе в кислой среде ($\text{pH} = 1,5 \dots 3,5$) образуется чисто фурановый олигомер с молекулами линейного строения. Они состоят из фурановых ядер, связанных между собой метиленовыми мостиками или диметиленэфирными ($-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-$) связями. Синтез проводят в присутствии кислых катализаторов.

Фурановые смолы типа "РЕЗОФОРМ NB" получают в присутствии малеинового ангидрида. В качестве катализаторов для смол этого типа применяют водные растворы ортофосфорной кислоты, а также водные или водно-спиртовые растворы сульфокислот – *парталуолсульфокислоты (ПТСК)* или *бензолсульфокислоты (БСК)* либо их смеси с серной или ортофосфорной кислотами.

Чисто фурановые смолы обладают высокой прочностью и термостойкостью, их применяют для изготовления стержней и форм среднего и крупного стального и чугунного литья, в том числе для безопочной формовки.

15. Характеристики смол РЕЗОФОРМ ФК-1 и РЕЗОФОРМ ФК-9

Марка смолы	Условная вязкость по ВЗ-246, с	Массовая доля азота, %	Массовая доля свободного фенола, %	Массовая доля свободного формальдегида, %	Прочность на разрыв, МПа через 30 мин/1 ч/3 ч/24 ч
	Не более				
РЕЗОФОРМ ФК-1	10...13	0,5	0,2	0,5	0,3/0,7/1,2/1,5
РЕЗОФОРМ ФК-9	10...13	—	—	—	0,2/0,2/1,2/1,5

Смолы такого типа выпускает фирма "Уралхимпласт-Кавенаги" (табл. 15).

Катализаторами для этих смол являются БСК-70 и ПТСК-65. Прочность приведена для смесей, содержащих 1 мас.ч. смолы и 0,25...0,3 мас.ч. катализатора.

Чисто фурановые смолы фирмы Huttenes Albertus марок ХА 20 и TDE 20 имеют соответственно вязкость 0,045 и 0,015 Па·с, содержат 0,18 и 0,20 % свободного формальдегида, не содержат азот. Обе смолы имеют высокую реакционную способность и прочность, короткий цикл первичного отверждения, наиболее приемлемы для поточного производства форм и стержней. Вторая смола обладает повышенной эластичностью, рекомендуется для форм и стержней крупных отливок, где протяжка должна идти без повреждений.

2.2.2. Карбамидно-фурановые и фенолофурановые смолы

Смолы этой группы имеют наибольшее применение в составе ХТС как в отечественной, так и в мировой практике. Они дают широкий спектр технологических возможностей в зависимости от соотношения карбамидно-формальдегидного и фуранового компонентов. Олигомеры содержат продукты реакций моно- и диметилмочевины друг с другом или фенолоформальдегидного компонента с фуриловым спиртом и свободного фурилового спирта. Сшитый полимер может иметь сложную структуру, в которой чередуются карбамидный или фенольный и фурановый компоненты.

16. Параметры отверждения ХТС с карбамидно-фурановыми смолами

Параметр	Содержание в смоле фурилового спирта, %					
	0	20	30	40	50	60
Продолжительность отверждения, с	5(20)	20(30)	50(30)	140(30)	150(40)	180(50)
Удельная прочность, МПа, на 1 % связующего через 24 ч	–	–	0,4... 0,6	0,8... 0,9	0,9... 1,1	0,9... 0,2

Примечание. В скобках – содержание ортофосфорной кислоты, % к смоле. Содержание смолы в смеси 1,5 мас.ч.

Реакционная способность, прочность и термостойкость этих компонентов различны, поэтому в конечном счете свойства ХТС с ними зависят от соотношения мономеров в синтезе, способа синтеза и стабилизации готового продукта, свойств применяемого катализатора и состава смеси. Для иллюстрации в табл. 16 приведены продолжительность отверждения и прочность смесей с карбамидо-фурановыми смолами, содержащими разное количество фурилового спирта.

Характеристики карбамидно-фурановых и фенолофурановых смол, производимых в России, по данным ООО "Уралхимпласт-Кавенаги", приведены в табл. 17.

17. Фурановые смолы отечественного производства

Марка смолы	Содержание в смеси, мас.ч.	Катализатор	Содержание в смеси, мас.ч.	Прочность на разрыв, МПа		Живучесть, мин
				через 1 ч	через 24 ч	
БС-40	1,8...2,0	H ₃ PO ₄	0,6...0,8	0,15...0,2	0,8...1,2	5...10
КФ-65С	1...1,2	H ₃ PO ₄	0,6...0,8	0,2...0,3	1,0...1,4	6...10
ФФ-65С	1...1,2	БСК	1,2...1,6	0,4...0,6	0,8...1,0	2...3
ФФ-1Ф	2...2,5	БСК	0,5...0,6	> 0,15	> 0,7	5...10

18. Физико-химические характеристики смол, производимых в КНР

Показатель	Марка смолы					
	SQG-100	SQG-150	SQG-200	SQG-300	SQG-400	SQG-450
Вязкость при 20 °С, МПа · с, не более	20	25	25	25	35	35
Плотность при 20 °С, г/см ³	1,12... 1,19	1,12... 1,19	1,12... 1,19	1,15... 1,19	1,17... 1,20	1,17... 1,20
Содержание азота, %, не более	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	4,2
Свободный формальдегид, %, не более	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08
Область применения	Крупные отливки из высокопрочного чугуна и стали	Отливки из стали, высокопрочного чугуна, крупные отливки из серого чугуна		Отливки из высокопрочного чугуна, крупные из серого чугуна	Отливки из серого чугуна и цветных сплавов	
Время хранения	Год					

Одним из производителей определенной номенклатуры карбамидно-фурановых и чисто фурановых смол является китайская фирма JINAN SHENGQUAN GROUP SHARE HOLDING. Физико-химические характеристики группы таких смол приведены в табл. 18.

Содержание смол в смесях 0,6...1,5 мас.ч., катализаторов 30...70 % от массы смолы, но не более 70 и не менее 30 %. Время до извлечения модели или стержня (strip time) изменяется за счет соотношения смолы : катализатор в интервале 15...40 мин.

Эта же фирма выпускает серию катализаторов – растворов сульфокислот (табл. 19).

19. Параметры катализаторов для фурановых смол

Марка катализатора	Параметры					
	Плотность при 20 °С, г/см ³	Общее содержание кислоты, %	Содержание свободной кислоты, %	Вязкость при 20 °С, МПа, не более	Температура воздуха и материалов, °С	Относительная влажность, %
GS04	1,2...1,3	18...20	0...1,5	10...30	25...35	70...80
GS03	1,2...1,3	24...26	7...10	10...30	15...25	50...70
GCO9	1,2...1,4	24,5...27,5	2,4...4,5	60...80	5...15	60...70
SQ-01D	0,95...1,15	16,0...18,5	1,5...3,5	3...6	Выше 35	–
SQ-02D	1,17...1,35	32,0...34,0	8...12	10...20	Ниже 0	–
SQ-03	1,20...1,35	30,0...33,0	6...10	20...30	0...5	–

20. Технологические свойства ХТС с фурановыми смолами производства КНР

Марка смолы; содержание фурилового спирта	Содержание смолы в смеси, %	Марка катализатора; время года	Живучесть, мин	Прочность на разрыв, МПа		
				через 1 ч	через 4 ч	через 24 ч
SQG-400; 80 %	1	GS03; весна, осень	18...25	0,25	1,45	1,70
	1	GS04; лето	10...15	0,35	1,50	1,55
	1	GC09; зима	6...8	0,50	1,40	1,50
SQG-100; 90 %	1	GS03; весна, осень	20...28	0,5	1,31	1,53
	1	GS04; лето	11...17	0,7	1,35	1,40
	1	GC09; зима	6...9	0,95	1,26	1,35
SQG-200; 95 %	1	GS03; весна, осень	10...23	0,35	1,75	1,60
	1	GS04; лето	8...13	0,45	1,50	1,45
	1	GC09; зима	4...6	0,55	1,30	1,50

Катализаторами для смол этого типа являются водные растворы сульфокислот, чаще всего паратолуолсульфокислоты (ПТСК), реже – бензолсульфокислоты (БСК) в сочетании с серной или фосфорной кислотами, небольшие добавки которых позволяют изменять активность при отверждении смол. Примером одного из катализаторов этого типа является материал финской фирмы KILTO – K55. Он содержит кроме ПТСК и воды 5...10 % серной кислоты и 20...30 % ортофосфорной кислоты. Иногда в качестве катализатора применяют 50...60%-ный водный раствор ортофосфорной кислоты. Однако при этом скорость отверждения ниже, чем при сульфокислотах.

Технологические свойства ХТС с некоторыми видами смол и катализаторами производства КНР приведены в табл. 20.

21. Прочность смесей с фурановыми смолами

Тип связующего; содержание фурилового спирта	Содержание связующего, мас.ч.	Прочность на изгиб, МПа	
		через 2 ч	через 24 ч
Huttenes Albertus (катализатор ПТСК)			
Карбамидно-фурановая смола; 60 %	1	0,3 0,7	1,4...1,7 2,2...2,4
Карбамидно-фурановая смола; 70 %	1	0,3...0,7	0,5...0,8
Карбамидно-фурановая смола; 80 %	1	0,3...0,7	2,0...2,4
Карбамидно-фурановая смола; 95 %	1	0,3...0,5	2,9...3,8
Фенолофурановая смола	1,1	0,5	1,6
Foseco (катализатор ПТСК, 1 мас.ч.)			
Карбамидно-фурановая смола; 50 %	1	0,5	2,6
Карбамидно-фурановая смола; 60 %	1	0,5	2,9
Карбамидно-фурановая смола; 80 %	1	0,4	3,7
Карбамидно-фурановая смола; 90 %	1	0,4	3,5
Карбамидно-фурановая смола Furtolit KH-503	1,2	0,6	3,1...4
Карбамидно-фурановая смола Furtolit KH-504	1,2	0,6	2,9...4,5
Карбамидно-фурановая смола Furtolit KH-500	1,2	0,6	3,4...5
Карбамидно-фурановая смола В-750	1,2	0,4	2,6...4,2

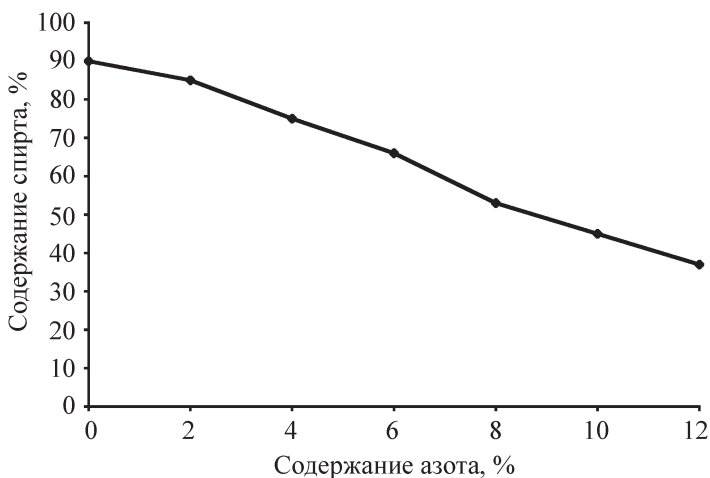


Рис. 5. Содержание фурфуролового спирта и азота в карбамидно-фурановых смолах

Для карбамидно-фурановых смол по рис. 5 можно примерно определить такие важные параметры, как содержание фурфуролового спирта и азота, и, соответственно, ориентировочную область применения связующего по видам сплавов и массе отливок.

Прочностные характеристики смесей с фурановыми смолами производства известных европейских фирм приведены в табл. 21.

Содержание фурфуролового спирта существенно влияет не только на прочность стержней или форм, но и на термостойкость смесей. Поэтому в зарубежной практике изготавливают и применяют смолы с высоким содержанием фурфуролового спирта, обычно не менее 80...85 %. Преимущественно это относится к смесям для средних и крупных форм при безопасной формовке.

В табл. 22 приведены ориентировочные данные о влиянии содержания в смолах фурфуролового спирта на термостойкость.

22. Влияние содержания фурилового спирта на термостойкость смесей

Связующее	Содержание фурилового спирта, %	Термостойкость, с
Карбамидно-фурановое	28	24
	34	50
	43	145
	47	167
	52	170
	80	210
Фенолофурановое	33	135
	37	151

Примечание. Термостойкость измеряли на образцах диаметром 11 мм и высотой 20 мм при нагрузке 0,35 МПа и температуре 1000 °С.

23. Трудности при работе со смесями на карбамидно-фурановых смолах

Проблема (трудность)	Причина возникновения	Мероприятие по устранению
Смесь влажная, прилипает к оснастке	Затруднен поток смеси	Проверить открывающее устройство, отдозировать поток смеси
	Слишком высокое соотношение катализатор:смола	Привести соотношение в норму
	Повышенная влажность песка	Высушить песок

Продолжение табл. 23

Проблема (трудность)	Причина возникновения	Мероприятие по устранению
Повышенное время до отверждения	<p>Пониженное содержание катализатора</p> <p>Высокое ADV</p> <p>Влажность песка выше 0,75 %</p> <p>Низкая температура песка</p>	<p>Проверить работу дозатора</p> <p>Снизить ADV</p> <p>Высушить песок</p> <p>Повысить температуру песка или при холодном песке увеличить содержание катализатора</p>
Стержни имеют рыхлую поверхность, углы и грани мягкие, рыхлые	<p>Неоднородное отверждение</p> <p>Высокая температура песка (выше 35...38 °С)</p> <p>Применена потерявшая живучесть смесь</p>	<p>Контролировать движение смеси; снизить содержание катализатора</p> <p>Довести содержание катализатора до минимума</p> <p>Использовать смесь до истечения срока живучести</p>
Стержни имеют твердые и мягкие участки	<p>Нарушена пропорция жидких компонентов</p> <p>Линии подачи катализатора или смолы засорены, периодически не работают</p>	<p>Проверить дозировку жидких компонентов, состояние выпускных шлангов или трубок</p> <p>Проверить утечки в линиях подачи смолы и катализатора, устранить заедание клапанов и кранов</p> <p>Проверить износ подающих устройств</p>

Окончание табл. 23

Проблема (трудность)	Причина возникновения	Мероприятие по устранению
Прилипшая смесь в стержневых ящиках	Слишком мягкая смесь	Проверить применение разделительного покрытия
	Применено неудачное покрытие ящика	Заменить покрытие
	Протяжку вели слишком рано	Уменьшить скорость протяжки
	Недостаточный уровень свойств для протяжки	Обеспечить свойства, необходимые для протяжки
Растворитель пропитывает смесь и ослабляет связи с ней	Слишком рано проведена окраска	Выдерживать стержень на воздухе минимум 30 мин до окраски
	Слишком низкое содержание твердого вещества	Проверить плотность краски
	Окраска происходит сразу после протяжки	Поверхность стержня должна быть подогрета
	Стержень недостаточно отвержден	Увеличить время выдержки стержня до окраски
В отливке заметна эрозия и/или пенетрация	Недостаточное уплотнение смеси или смесь частично потеряла живучесть	Доуплотнить смесь, сократить время выдержки готовой смеси
В отливке заметна ситовидная пористость	Недостаточно высушена краска	Увеличить время сушки краски
	Плохая совместимость связующего с заливаемым расплавом	Применить другое связующее с пониженным содержанием азота

Фирма Huttenes Albertus производит в основном три марки карбамидно-фурановых смол: F700, U404 и T304U. Их вязкость составляет соответственно 0,06, 0,02 и 0,015 Па·с, содержание азота 1,1, 3,5 и 1,3 %, содержание свободного формальдегида 0,2, 0,1 и 0,2 %. Их используют в поточных линиях с коротким циклом отверждения стержней и форм для крупных отливок со значительным применением регенерата, для крупных уникальных отливок.

При работе со смолами этих классов могут возникать определенные трудности, перечисленные в табл. 23.

2.2.3. Фенолоформальдегидные смолы, отверждаемые эфирами (процесс Альфа-сет)

Связующее представляет собой композицию, состоящую из двух компонентов: фенолоформальдегидной смолы и катализатора (смеси эфиров этиленгликоля). Один из типов связующей композиции представляет собой смесь водного раствора фенолоформальдегидной смолы и отвердителя. В зависимости от требуемой живучести песчано-смоляной смеси поставляются несколько марок отвердителя. Важнейшие физико-химические и технологические показатели связующего по техническим условиям одного из производителей приведены в табл. 24.

24. Показатели связующего

Показатель	Связующее		
	Смола	Отвердитель Б1	Отвердитель Б2
Условная вязкость при $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ по вискозиметру ВЗ-246, с, не более	40	–	–
Плотность*, кг/м ³	1200...1220	940...980	950...1000
Массовая доля свободного фенола, %, не более	0,1	–	–
Массовая доля свободного формальдегида, не более, %	0,2	–	–
Прочность на разрыв, МПа, не менее, при выдержке:	–		
1 ч		0,8	0,4
3 ч		1,2	1,0
24 ч		1,4	1,4
Живучесть смеси, мин, не менее	–	5	40

* Плотность зависит от содержания в смоле КОН.

Возможно применение смолы с указанными в табл. 24 значениями плотности 1,10...1,2 кг/м³, но при введении "сильных" отвердителей, например 50 % триацетина и 50 % гамма-бутиролактона или 100 % гамма-бутиролактона. При более высоких значениях плотности, например 1,25...1,26 кг/м³, можно использовать менее активные отвердители. Смола такого типа (ФСМ-А) с соответствующими отвердителями выпускает ООО "Уралхимпласт-Кавенаги". Эту смолу применяют многие российские предприятия.

Контроль качества связующего проводят по следующей схеме.

1. Отбор проб. Точечные пробы компонентов связующего массой 0,5 кг отбирают пробоотборником, тщательно перемешивают и отбирают среднюю пробу в количестве не менее 0,5 кг, которую помещают в чистую, сухую, плотно закрывающуюся банку. На банку наклеивают этикетку с указанием наименования продукта, номера партии и даты отбора пробы.

2. Определение внешнего вида. Контроль внешнего вида компонентов связующего проводят визуально, осматривая не менее 200 г средней пробы.

3. Определение вязкости. Условную вязкость связующего определяют по ГОСТ 8420-74 при температуре (20 ± 1) °С на вискозиметре ВЗ-246 (сопло 4 мм) по ГОСТ 1532-81.

4. Определение плотности. Плотность связующего определяют с помощью ареометров и цилиндров стеклянных по ГОСТ 18481-81 при 20 °С.

5. Определение массовой доли свободного фенола в компоненте А. Массовую долю свободного фенола определяют по ГОСТ 11235-75.

6. Определение массовой доли свободного формальдегида в смоле. Массовую долю свободного формальдегида определяют по ГОСТ 16704-71.

7. Определение предела прочности образцов при разрыве.

7.1. Аппаратура и материалы.

Весы общего назначения: класс точности 4, наибольший предел взвешивания 10 кг, ГОСТ 29329-92, для взвешивания песка.

Весы общего назначения: класс точности 3, наибольший предел взвешивания 500 г или класс точности 4, наибольший предел взвешивания 200 г, ГОСТ 24104-2001, для взвешивания связующего.

Комплект гирь 3-го класса Г-3-1110 и гири КГ-3-1, ГОСТ 7328-2001, комплект гирь 4-го класса Г-4-10210 и гири КГ-4-1.

Термометр лабораторный, ГОСТ 28498-90 с ценой деления 0,5 °С, пределы измерения 0...50 °С.

Секундомер технический.

Агрегат для приготовления смеси – смеситель лопастной или катков-
вый.

Многогнездная стержневая оснастка, используемая для изготовле-
ния образцов. Тип образцов – стандартные восьмерки в соответствии с
ГОСТ 23409.7–78.

Любой прибор, обеспечивающий измерение прочности при разрыве
с точностью не ниже 0,01 МПа.

Все применяемые средства измерений должны быть поверены госу-
дарственной (ведомственной) метрологической службой.

Песок кварцевый 1К₁О₃ 016 или 02.

Состав песчано-смоляной смеси, мас. ч.: наполнитель – песок квар-
цевый – 100; компонент *A* связующего – 1,7; компонент *B* связую-
щего – 0,6.

7.2. Приготовление песчано-смоляной смеси. Все компоненты пес-
чано-смоляной смеси должны иметь температуру (20 ± 2) °С, влажность
песка должна составлять не более 0,5 %, рН = 6,5...7,5.

Влажность песка определяют по ГОСТ 23409.5–78, рН – по ГОСТ
23409.22–78.

Порядок приготовления смеси: взвешенный песок засыпают в сме-
ситель, добавляют компонент *B* и перемешивают в течение 60 с, затем
добавляют компонент *A* и перемешивают еще 60 с.

Образцы изготавливают сразу после приготовления смеси.

7.3. Изготовление и отверждение образцов для определения предела
прочности на растяжение. Смесь, приготовленную по п. 7.2, уплотнить
вручную в разъемной пресс-форме для изготовления образцов на разрыв
или изгиб.

7.4. Обработка результатов измерений. Изготовленные образцы под-
вергают испытаниям через 1, 3 и 24 ч после изготовления по три образца
на каждый интервал времени.

За результат испытания принимают среднее арифметическое из трех
значений, которое и является окончательным результатом.

8. Определение живучести смеси. Для определения живучести пес-
чано-смоляной смеси измеряют прочность образцов сразу после смешени-
я песчано-смоляной смеси. Образцы изготавливают из смеси, храня-
щейся с момента ее приготовления в закрытой емкости.

Определение прочности проводят каждые 5 мин, начиная с момента
приготовления смеси.

За живучесть смеси принимают период времени хранения смеси, при котором снижение прочности отвержденных образцов не превышает 30 %.

Процесс Альфа-сет существует более 10 лет. Возможность эфирного отверждения резольной смолы была открыта в 1960 г., а как связующее описана в 1975 г. Альфа-сет – литейная технология начала применяться в 1980 г. ХТС, используемые в этом процессе, обладают следующими преимуществами: меньшим газовыделением при заливке; легким отделением от оснастки; отсутствием азота, фосфора, серы.

Первоначально внедрение Альфа-сет-процесса проходило в Великобритании, затем распространилось в Европе, США, Южной Америке, Азии. Эта технология получила наибольшее развитие при производстве стального литья (особенно отливок из марганцовистых сталей), а в дальнейшем также отливок из чугуна и цветных сплавов. Значительно улучшилось качество стальных отливок, снизилась трудоемкость финишной обработки. Характерно уменьшение дефектов расширения, таких как просечки и пригар; химическая природа связующего позволяет компенсировать первоначальное расширение кварца при литье до окончательного затвердевания связующего. Низкое содержание азота в смеси и отсутствие серы и фосфора минимизируют газовые и металлургические дефекты без добавления оксидов железа.

Установлены также некоторые ограничения процесса: недостаточная уплотняемость, пониженная прочность, недостаточная регенерируемость. При доработке вязкость снизили с 400 до 200 сП [с 4 до 2 Н/(м²·с)]. Регенерируемость оставалась на уровне 50...60 %. В связующее добавлено 5 % водного раствора ПАВ – органосилана.

При применении регенерата есть проблема доувлажнения. Это говорит о присутствии раствора ПАВ. Однако увеличение влаги в системе нежелательно, так как смола первоначально содержит влагу. Эффект переувлажнения создает проблемы с производительностью регенерационной установки и ведет к некоторой потере прочности. Возможность использования материала с малой молекулярной массой и небольшое увлажнение дают лучшие результаты применения регенерата. К сожалению, это снижает реактивность смолы, и отверждение идет хуже. Кроме того, низкая молекулярная масса требует более высокой щелочности и обеспечивает более стабильный раствор. Это несовместимо с требованиями высокого выхода при регенерации.

25. Влияние параметров связующего на прочность смеси

Прочность на сжатие, МПа, после выдержки образцов в течение времени, ч	Средняя молекулярная масса при умеренной щелочности	Низкая молекулярная масса при высокой щелочности	Высокая молекулярная масса при низкой щелочности
1	0,11	0,10	0,98
2	0,13	0,11	0,11
4	0,15	0,18	0,15
24	0,23	0,18	0,2

Примечание. Смесь содержала 100 мас.ч. песка, 1,5 % смолы, 25 % от массы смолы – катализатор.

Относительно высокая молекулярная масса, меньший сухой остаток, меньшая щелочность смолы, напротив, дают хорошую реактивность и не требуют дополнительного увлажнения смеси. Однако низкий сухой остаток дает меньшую конечную прочность и высокое содержание воды и требует повторной регенерации. Новое поколение смол обладает хорошей реактивностью и высокой прочностью вместе с хорошим применением регенерата. Ее вязкость далее понижена до 100 сП. В табл. 25 дано сравнение различных типов смол. Актуальный уровень регенерации с последними видами смол – 85 %.

Снижение молекулярной массы улучшает регенерацию, но это снижает реактивность смолы. Дополнительно низкомолекулярная смола нуждается в более высоком содержании щелочи для гарантии стабильного раствора. Это противоречит требованиям высокого уровня регенерации. Относительно высокая молекулярная масса, слабая сшивка, меньшая щелочность дают, напротив, высокую реактивность, лучшее смачивание. Решение состоит в комбинации продуктов с высокой и низкой молекулярными массами.

Новое поколение смол обладает высокой реактивностью и прочностью и хорошей регенерацией; их вязкость снижается до 100 сП (табл. 26).

26. Прочность на сжатие смесей для Альфа-сет-процесса, МПа

Выдержка, ч	Молекулярная масса при высо- кой щелочности	Молекулярная масса при высоком сухом остатке и высокой щелочности	Высокая молекуляр- ная масса при низ- ком сухом остатке, низкой щелочности
1	0,77	0,42	0,84
2	0,90	0,64	0,11
4	0,11	0,88	0,11
24	0,16	2,51	0,11

Примечание. Смесью содержала 100 мас.ч. песка; 1,5 % смолы, 25 % от массы смолы – катализатор.

Сравнение технологических характеристик различных групп связующих для ХТС, которое приводят в информационных материалах разработчики Альфа-сет-процесса, представлено в табл. 27.

27. Сравнительные характеристики связующих систем

Характеристика	Альфа- сет- процесс	Фурановая смола – кислота	Фенольная смола – кислота	Жидкое стекло – сложный эфир
Запах при переме- шивании (горячий песок)	Очень слабый	Сильный	Сильный	Очень слабый
Прилипаемость	Очень низкая	Высокая	Высокая	Средняя
Очистка остатков водой	Да	Частично	Частично	Да

Окончание табл. 27

Характеристика	Альфа-сет-процесс	Фурановая смола – кислота	Фенольная смола – кислота	Жидкое стекло – сложный эфир
Отношение живучести к ST*, %	30	25	25	25
Влияние температуры песка на время отверждения	Умеренное	Сильное	Сильное	Умеренное
Возможность применения песков различной природы (кварц, оливин, хромит)	Да	Нет	Нет	Нет
Хранение стержней и форм	Длительное	Длительное	Длительное	Краткое
Быстрое отверждение	Да	Да	Нет	Да
Медленное отверждение	Да	Да	Да	Да
Регенерируемость	Средняя	Средняя	Высокая	Плохая

*ST (strip time) – время в минутах после добавления смолы в наполнитель, когда смесь приобретает прочность на сжатие около 0,7 МПа.

Сравнение тех же систем относительно качества отливок приведено в табл. 28.

28. Характеристики смесей, влияющие на качество отливок

Характеристика	Альфа-сет-процесс	Фурановая смола – кислота	Фенольная смола – кислота	Фенольная смола – изоцианат	Жидкое стекло – сложный эфир
Наличие азота	Да/Нет	Да/Нет	Да/Нет	Да	Нет
Склонность к пригару	Малая	Малая	Малая	Умеренная	Малая
Наличие серы	Нет	Да/Нет	Да	Нет	Нет
Склонность к просечкам	Малая	Высокая	Высокая	Умеренная	Низкая
Вероятность газовых дефектов	Низкая	Умеренная	Умеренная	Высокая	Низкая
Выбиваемость	Хорошая	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Плохая
Образование блестящего углерода	Низкое	Умеренное	Умеренное	Высокое	Низкое
Газовыделение при заливке	Малое	Умеренное	Умеренное	Большое	Малое

Одна из возможностей повышения прочности смеси с фенольно-эфирной композицией – применение специальных добавок.

При механической регенерации смесей их прочность на разрыв может быть в 2–3 раза выше, чем без добавок. Положительные результаты дает термическая регенерация эфирно-фенольной смеси (табл. 29).

Типичное содержание смолы в смеси составляет 1,5...1,8 мас.ч., отвердителя 0,3...0,4 мас.ч. Прочность смеси минимальна при низкой температуре и высокой влажности, прилипаемость минимальна при высоком отношении живучести к ST (**ST – strip time – время в минутах после добавления смолы в наполнитель, когда смесь приобретает прочность на сжатие около 0,7 МПа**). Вода не замедляет реакцию компонентов, но снижает конечную прочность. Регенерация требует высокоэнергетической механической активации. Присутствие калия вызывает трудности при термической регенерации. Для регенерата максимально допустимый ППП = 1,0 %.

29. Прочность смесей при регенерации и наличии добавок

Смесь	Прочность на разрыв, МПа	
	через 1 ч	через 24 ч
Механическая регенерация, 100 %	0,16	0,27
Термическая регенерация при 600 °С; 0,6 % добавки 1	0,44	0,89
Термическая регенерация при 600 °С; 0,6 % добавки 2	0,37	0,90
Термическая регенерация при 750 °С; 0,6 % добавки 1	0,41	0,96
Свежий песок	0,46	1,05

В песках содержатся примеси мелких фракций. У них большая поверхность, которая требует повышенного содержания связующего. Если его не менять, то прочность снижается, что показано на рис. 6.

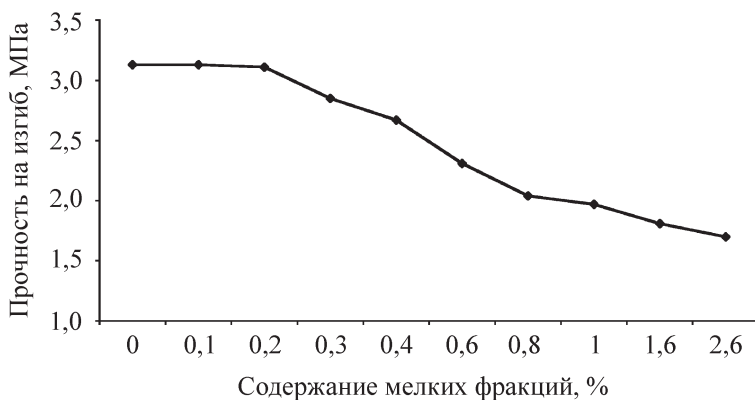


Рис. 6. Зависимость прочности на изгиб смеси для Альфа-сет-процесса от содержания фракций менее 0,1 мм (содержание смолы в смеси 1,2 %)

Высокое содержание мелких фракций делает песок более хрупким из-за снижения термомеханических характеристик, что заметно при пневмотранспорте и регенерации. При увеличении их содержания снижаются текучесть и газопроницаемость смеси.

Чем их меньше в регенерате, тем дешевле и экологичнее процесс, так как они повышают расход смолы и снижают прочность. При заливке увеличивается газовыделение, что повышает вероятность поглощения газов металлом. Летучие компоненты содержат несгоревшее или разложившееся связующее и катализатор из предыдущего цикла. ППП является одним из критериев этого остатка.

Для оценки качества песка нужно знать степень его щелочности. Для свежего песка ADV должно быть менее $0,5 \text{ см}^3$ 0,1-N HCl на 100 г песка. ADV регенерата должно быть не более 5 см^3 0,1-N HCl на 100 г песка, т.е. pH = 6...8. Нужно следить за этим показателем, чтобы быть уверенным, что катализатор даст заданные параметры отверждения.

Отвердителями данных ХТС являются смеси органических эфиров: метилформиата, этилформиата, этилацетата, этиллактата, бутиролактона, капролактона, моноацетатэтиленгликоля или диацетина. Авторы процесса описывают композиции, в которых эфиром является пропиоллактон, бутиролактон, валеролактон, капролактон, в одном из европейских патентов описаны модельные композиции, в которых эфир – это гамма-бутиролактон, пропиоллактон, капролактон или триацетин (триацетат глицерина).

Смесь должна иметь достаточную живучесть. Проблема – короткая живучесть и потом быстрое твердение. Эфир должен иметь три или более атомов углерода. Наполнителем может быть кварцевый песок, циркон, хромит, оливин. Смолу готовят путем взаимодействия моногидрофенола, такого как фенол, крезол или дигидрофенол (например резорцина) или их смеси и формальдегида в щелочной среде. Мольное соотношение фенола и формальдегида должно быть от 1:1 до 1:3.

Щелочи, например едкий натр или едкое кали, добавляются в твердом виде или в виде водного раствора в водный раствор смолы, которую потом смешивают с песком и отвердителем. Возможна альтернатива – вводить щелочь в смесь песка, водного раствора смолы и отвердителя. Количество щелочи зависит от времени твердения и конечной прочности, обычно оно составляет 20...60 % от массы смолы. Из щелочей предпочтительно едкое кали.

Эфиры относятся к категории производных от пропилена и бутилена, например такие, как эфиры пропиленгликоля (пропан:диол – 1:2), триметиленгликоль (пропан:диол – 1:3), альфа-бутиленгликоль (бутан:диол – 1:2), бета-бутиленгликоль (бутан:диол – 1:3), обеспечивают достаточную живучесть, но при их использовании желательно относительно быстро извлекать модель или стержень. На практике большая живучесть и малое ST, как правило, конфликтуют. Обычно совмещают эфиры с малой и высокой скоростями отверждения. Это зависит от характеристик песка, окружающей температуры. Примерами приемлемого эфира быстрого твердения являются глицериндиацетат (диацетин) или триацетин, эфиры этиленгликоля, такие как диацетат этиленгликоля, а также другие эфиры – пропиленкарбонат, пропиоллактон, бутиролактон, валеролактон, капролактон.

Состав отвердителя, массовая доля, %: 25...75 эфира дигидрогликоля, имеющего 3 или более 10 атомов углерода; 25...75 одного или более эфиров быстрого твердения.

Отношение ST к живучести BL (bench life) должно быть по возможности минимальным. Смесь обычно содержит 0,8...1,8 % раствора щелочной смолы и 15...50 % отвердителя от массы смолы.

30. Параметры упрочнения смесей с ацетатами

Альфа-бутиленгликоль-диацетат, массовая доля, %	Глицеролтриацетат, массовая доля, %	ST, мин	BL, мин	ST/BL
100	0	219,4	107	2,06
80	20	117,00	52	2,25
60	40	53,25	25	2,13
40	60	39,75	15	2,65
20	80	31,90	11	2,90
0	100	24,80	8	3,10

Пример 1. Состав смолы, мас.ч.: 34,5 водного раствора едкого кали (массовая доля, %: 48...59 едкого кали и 65,25 фенолоформальдегидной смолы с мольным соотношением фенол:формальдегид 1:1,7); 0,25 гамма-аминопропилтриэтоксисилана. Готовая смола имеет мольное соотношение едкого кали к фенолу 0,9:1. Модуль мелкости песка 50.

Отношение ST/BL определяли расчетом по полученным ранее данным (табл. 30). Температура в опытах 22 °С.

Пример 2. Смесь готовили из песка с модулем мелкости 50 со следующими отвердителями: 1 – альфа-бутиленгликольдиацетатом; 2 – по 50 % от массы альфа-бутиленгликольдиацетата и глицеролтриацетата; 3 – глицеролтриацетатом; 4 – глицеролдиацетатом; 5 – этиленгликольдиацетатом; 6 – гамма-бутиролактоном.

Опыты проводили при $(21 \pm 0,5)$ °С и относительной влажности (42 ± 2) % (табл. 31).

Гамма-бутиролактон реагирует со смолой так быстро, что не удается за короткое время сделать стержни и, соответственно, образцы.

31. Параметры упрочнения смесей с ацетатами

Параметр	Отвердитель				
	1	2	3	4	5
Живучесть, мин	115	20	7	5	4
ST, мин	Более 300	78	27	27	27
ST/BL	Более 2,6	3,9	3,8	5,4	6,75
Время	Прочность на сжатие, МПа				
30 мин	–	–	0,11	0,86	0,86
1 ч	–	4,5	0,19	0,14	0,10
2 ч	1,5	10,1	2,46	0,19	0,21
3 ч	4,0	15,5	2,71	0,21	0,26
4 ч	4,9	16,0	2,91	0,24	0,22
24 ч	11,0	27,1	3,66	0,35	0,24

32. Параметры упрочнения смесей с пропиленгликольацетатами

Параметр	Отвердитель	
	1	2
ST, мин	12,9	5,7
BL, мин	2,3	1,3
ST/BL	5,6	4,4
Время	Прочность на сжатие, МПа	
30 мин	–	0,8
1 ч	–	0,7
2 ч	0,6	1,5
3 ч	1,0	2,0
4 ч	1,1	2,3
24 ч	2,3	–

Пример 3. Смесь сделана так же, как в примере 2, в тех же условиях. В качестве отвердителей использовали: 1 – пропиленгликольдиацетат; 2 – смесь из 50 % (массовая доля) пропиленгликольацетата и 50 % (массовая доля) глицеролтриацетата. Результаты приведены в табл. 32.

Связующее не содержит фурилового спирта и азота, имеет очень низкое содержание свободных фенола и формальдегида. Смена отвердителя позволяет в широких пределах регулировать живучесть. Смола хранится от 4 до 6 мес, ее рН = 11...13,5, она является коррозионной жидкостью. Высокая щелочность требует правильного подбора материалов в конструкции стержневых машин, транспортной таре и перекачивающих системах, с которыми контактирует связующее. Недопустимо сочетание с другими видами связующих, на свойства которых может влиять щелочная среда.

Как отмечено выше, катализатор – это смесь эфиров; его нельзя применять в сочетании с кислотоотверждаемыми смолами. ST меняется в интервале 2...90 мин. Этот показатель зависит от вида и массы катализатора и температуры песка. Ускорить процесс можно, повышая содержание катализатора, но лучше выбрать более подходящий катализатор. Его

33. Прочность на разрыв смесей с различными типами смол, МПа

Время выдержи образцов, ч	Низкая молекулярная масса при высокой щелочности	Высокая молекулярная масса при низкой щелочности	Низкая молекулярная масса при умеренной щелочности
2	1,2	1,2	1,1
4	1,8	1,5	1,4
24	1,8	2,0	1,8

Примечание. Состав смеси: 100 мас.ч. песка; 1,5 % смолы, 25 % от массы смолы эфир.

вводят в смеситель первым, потом смолу. Для ХТС можно применять кварц, хромит, циркон, оливин. Оба компонента связующей композиции водорастворимы, что облегчает чистку рук, одежды, оборудования.

Снижение молекулярной массы улучшает регенерацию, но это снижает реактивность смолы. Дополнительно низкомолекулярная смола нуждается в более высоком содержании щелочи для гарантии стабильного раствора. Это противоречит требованиям высокого уровня регенерации. Относительно высокая молекулярная масса, слабая сшивка, меньшая щелочность дают, напротив, высокую реактивность, лучшее смачивание. Но при низком сухом остатке прочность ниже, однако эффект регенерации выше. Решение состоит в комбинации продуктов с высокой и низкой молекулярными массами.

Новое поколение смол обладает высокой реактивностью, высокой прочностью и хорошей регенерацией. Вязкость новых смол невелика и составляет около 100 сП. При одинаковом сравнении содержания смол прочность смесей на смолах нового поколения ниже, чем на фурановых.

Новое поколение смол дает хорошую реактивность и высокую прочность вместе с хорошим применением регенерата. Ее вязкость далее понижена до 100 сП. В табл. 33 дано сравнение различных типов смол, применение 100 % регенерата подчеркивает различие. Актуальный уровень регенерации с последними видами смол – это 85 % легкого истирания.

В 1991 г. специально разработана новая серия приемлемых эфиров для повышения прочности на начальном этапе (табл. 34).

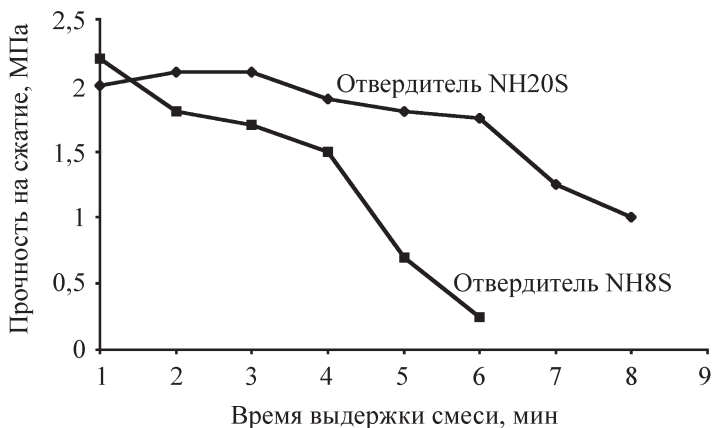


Рис. 7. Зависимость прочности на сжатие смесей для Альфа-сет-процесса с различными отвердителями от времени выдержки

В последние годы совершенствование материалов происходит очень быстро. Для примера параметры двух разных отвердителей показаны на рис. 7 и в табл. 34.

34. Прочность на сжатие смесей с новыми эфирами, МПа

Выдержки, ч	Связующее	
	Новое поколение смол + + стандартная смесь отвердителей	Новое поколение смол + + стандартная смесь отвердителей + добавки
1	0,11	0,12
2	0,13	0,16
4	0,17	0,19
24	0,22	0,22

35. Характеристики отвердителей

Отвердитель	BL, мин	ST, мин	BL/ST
NH3S	0,5	3,5	0,14
NH8S	1	8	0,13
NH15S	2,25	15	0,15
NH20S	3	18,5	0,16
NH30S	3,25	25	0,13

Данные для группы отвердителей приведены в табл. 35. При свежем песке начальная скорость реакции меньше, а при регенерате – выше. На практике управление живучестью и скоростью отверждения нужно проводить корректировкой содержания регенерата или связующего.

Последнее поколение щелочных фенольных смол имеет довольно низкую вязкость. Это влияет на качество уплотнения и позволяет иметь более высокое содержание регенерата. На рис. 8 показано влияние уплотнения для свежего песка и регенерата на прочность при сжатии через 2 ч.

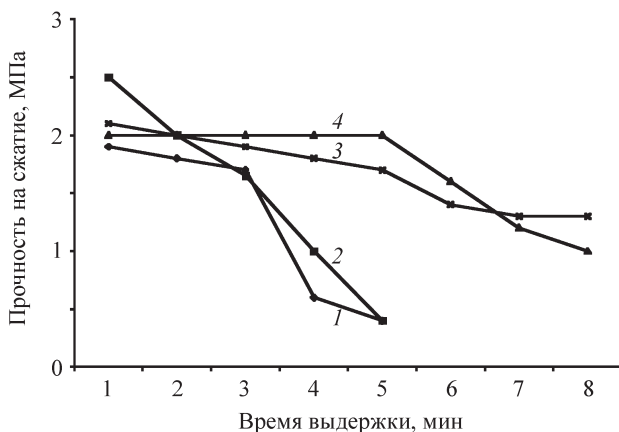


Рис. 8. Зависимость прочности на сжатие смесей, приготовляемых по Альфа-сет-процессу, от времени выдержки и уплотнения:

1 – отвердитель NH8S, 3 удара; 2 – NH30S, 3 удара; 3 – NH8S, 1 удар;
4 – NH30S, 1 удар

Видно, что разница в начальной прочности при свежем песке между первым и третьим ударами незначительна: 18 % для NH20S и 25 % для NH8S. Прочность смеси с регенератом значительно отличается при уплотнении одним и тремя ударами и составляет 15...20 %. С течением времени эта разница уменьшается. Эффект уплотнения смеси с регенератом значительно больше внутри периода живучести готовой смеси. Смесь с регенератом явно менее текуча, что видно из результатов замера плотности γ : свежий песок, 1 удар $\gamma = 1,65 \text{ г/см}^3$; свежий песок, 3 удара $\gamma = 1,66 \text{ г/см}^3$; регенерат, 1 удар $\gamma = 1,57 \text{ г/см}^3$; регенерат, 3 удара $\gamma = 1,62 \text{ г/см}^3$.

Плотность смеси с регенератом не уменьшается со временем. Это подтверждает, что живучесть потеряна до явного уменьшения текучести. На практике уплотнение должно происходить до потери живучести, это нужно учитывать при операциях формовки на вибростолах.

При работе со смолами этого класса могут возникать некоторые трудности. Их перечень и краткий анализ, по данным AFS, приведены ниже.

Причины разупрочнения формы или стержня, связанные с оборудованием или зависящие от качества смеси

Оборудование

Плохое перемешивание – грязный, изношенный смеситель, сбой в регулировке, короткий цикл смешивания;
нарушения в калибровке насоса;
засорен фильтр;
остатки смесей с другими связующими.

Смесь

Смесь после истечения срока живучести;
повышенное содержание мелких фракций;
горячий песок, пониженная живучесть;
неудачно выбран отвердитель, в результате чего сократилась живучесть;
пониженная плотность из-за слабого уплотнения;
избыток регенерата;
масса смеси за пределами регулировок.

Высокий ST

Оборудование

Плохое перемешивание – грязный, изношенный смеситель, сбой в регулировке, короткий цикл смешивания;
низкое содержание отвердителя (нарушение дозировки);
остатки смесей с другими связующими.

Смесь

Холодный песок;
повышенная влажность песка;
смесь после истечения срока живучести.

Сгустки смолы (красные пятна на стержнях или формах)

Оборудование

Плохое перемешивание – грязный, изношенный смеситель, сбой в регулировке, короткий цикл смешивания;
Нарушена калибровка подачи смолы.

Смесь

Нарушена калибровка подачи песка;
песок слишком холодный; слишком холодная смола; превышено время хранения смолы.

Сокращенная живучесть

Оборудование

Слишком длительный цикл перемешивания.

Смесь

Неподходящий отвердитель;
превышено гарантийное время хранения смолы;
горячий песок.

Прогиб или перекося стержня или формы

Оборудование

Плохое перемешивание – грязный, изношенный смеситель, сбой в регулировке, короткий цикл смешивания;
нарушена калибровка подачи смолы и/или отвердителя;
стержень извлечен раньше оптимального ST.

Смесь

Холодный песок, поэтому увеличено ST.

Сокращенное время хранения стержней или форм**Оборудование**

Пониженное содержание отвердителя из-за нарушения калибровки; плохое перемешивание – грязный, изношенный смеситель, сбои в регулировке, короткий цикл смешивания; нарушена калибровка подачи смолы.

Смесь

Нарушены показатели смеси; многоцветный стержень или форма.

**2.2.4. Фенолоформальдегидные смолы
кислотного отверждения**

В России производят фенолоформальдегидную смолу резольного ортоориентированного типа марки РСФ-3010 (ОАО "Карболит", г. Орехово-Зуево). Ее условная вязкость не более 150 с, массовая доля нелетучих веществ 65...85 %, прочность при сжатии через 1 ч не менее 0,5 МПа. Кинетика упрочнения ХТС с таким связующим при его содержании 2,5 мас.ч. и 1,5 мас.ч. катализатора (75%-ный водный раствор паратулоульфоокислоты) при различных катализаторах синтеза смолы показана в работе [3].

Фирма Furtenbach производит два типа фенольных смол для ХТС: Furtolit Si-C и Furtolit Si-E. При содержании 1,2 % смол и 0,5 % водного раствора ПТСК живучесть смесей составляет 15 мин, прочность на изгиб через 2 ч – 1,6...1,7 МПа, через 24 ч – 2,8...3,1 МПа. ХТС со смолами чисто фенольного класса обладают высокой термостойкостью, относительно низкой эмиссией при заливке и выбивке. Однако их применение требует на холодной стадии надежной вентиляции из-за повышенного 12...15%-ного содержания свободного фенола.

В промышленно развитых странах кислотоотверждаемые фенольные смолы в последние годы применяют мало, так как существуют более технологичные и экологичные фурановые связующие следующего поколения.

2.2.5. Полиуретановые связующие (технология Rep-set)

Полиуретановая связующая композиция представляет собой трехкомпонентную систему, состоящую из следующих компонентов: *A* – раствора фенолоформальдегидной смолы; *B* – раствора изоцианата; *C* – раствора производного пиридина (активатор).

Кинетика отверждения смесей на данном связующем показана на рис. 9.

К группе соединений, приемлемых в качестве активных катализаторов для фенольно-изоцианатной системы, относятся изокинолин, фенилпиридин, пиридин, акродин, 2-метоксипиридин, пиридазин, 3-хлорпиридин, кинолин, *N*-метилимидазол, 4,4-дипиридин, фенилпропилпиридин, 1-метилбензимидазол, 1,4-тиазин, 1,3-ди-4-пиридилпропан и др.

Смешанная в определенной пропорции композиция образует при нормальной температуре прочный трехмерно сшитый полиуретановый полимер.

Технология Rep-set наиболее широко применяется в США для изготовления стержней и форм в мелкосерийном и единичном производстве. Европейские фирмы (например, ООО «Уралхимпласт-Кавенаги», Ashland-Sudchemie-Kernfest) также выпускают компоненты связующего Rep-set, но их применение в литейном производстве в странах Европы и Азии ограничено.

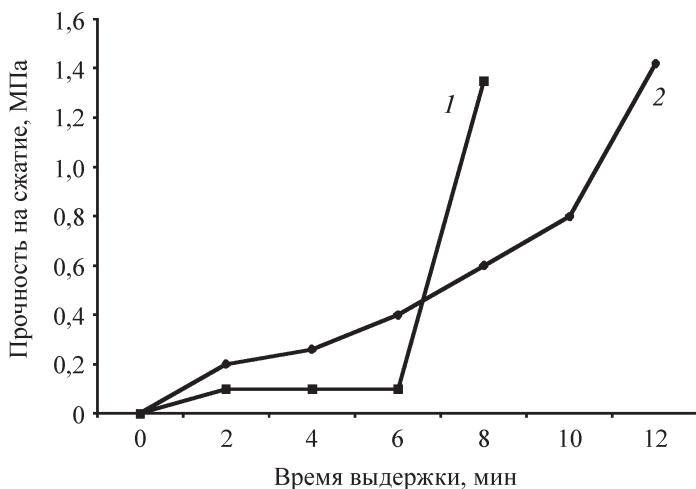


Рис. 9. Кинетика отверждения смеси для Rep-set-процесса (1) и смеси с фурановой смолой (2)

36. Физико-химические параметры связующего Per-set-процесса

Параметр	Значение величины
Условная вязкость при 20 °С по вискозиметру ВЗ-246 (диаметр сопла 4 мм), с, не более:	
компонента <i>A</i>	75
компонента <i>B</i>	35
Плотность, кг/м ³ :	
компонента <i>A</i>	1000...1100
компонента <i>B</i>	1100...1200
компонента <i>C</i>	725...735
Предел прочности при растяжении стандартных образцов, изготовленных из песчано-смоляной смеси, МПа, не менее, через:	
1 ч	0,4
3 ч	0,6
24 ч	1,0

По физико-химическим показателям связующее данного типа соответствует требованиям и нормам, указанным в табл. 36.

Катализатор – пиридиновое соединение – можно предварительно вводить в фенольную часть связующего. Такая предварительная смесь может стабильно сохраняться при температуре до 30 °С длительное время без потери связующих свойств.

Суммарное содержание компонентов *A* и *B* в полиуретановом связующем должно составлять 1,2...2 мас.ч. при их соотношении 1:1; соотношение можно менять в зависимости от требуемой прочности и термостойкости для отливок из чугуна, стали или цветных сплавов.

Живучесть смеси при содержании катализатора 4...5 % от смолы составляет 5...15 мин. Эта же смесь при более высоком содержании катализатора может использоваться для весьма быстрого отверждения с ST,

равным 1...1,5 мин. На этом принципе построена технология изготовления стержней на установке, которая обеспечивает быстрое приготовление смеси с малой живучестью и ее пескострельное уплотнение с темпом изготовления стержня 1...2 мин. Стержневое оборудование подобного типа разработано и производится в США фирмой Berdsley and Piper. Ниже приведены показатели прочности для ХТС, содержащей, мас.ч.: 0,75 фенольной смолы, 0,75 полиизоцианата и 4,5 % (массовая доля) от смолы отвердителя:

Время выдержки, ч 1; 3; 5; 24

Прочность на разрыв, МПа0,8; 0,9; 1,1; 1,3

Важно, что для условий массового производства проверка разупрочнения во влажной среде (при выдержке в сырой форме с влажностью смеси 4 %) подтвердила падение прочности на 50 %; газотворность смеси составила 4,5 см³/г.

По данным фирмы Ashland-Sudchemie-Kernfest, при содержании компонентов *A* и *B* по 0,8 мас.ч. и катализатора 0,8 % от массы компонента *A* прочность смеси составляет:

Время выдержки, ч 0,5; 1,0; 2,0; 24

Прочность на изгиб, МПа 2,1; 3,2; 4,0; 4,2

Компонент *B* надлежит хранить в герметичной таре, так как он активно реагирует с водой или влагой, содержащейся в воздухе. Для технологии Rep-set характерен быстрый рост прочности сразу после начала отверждения (окончания срока живучести) (см. рис. 9). В этом – принципиальное отличие полиуретанового связующего от смол, отверждаемых кислотами.

2.3. ХТС С ЖИДКИМ СТЕКЛОМ

Наряду с синтетическими смолами в ХТС используют, хотя и в меньшем объеме, жидкое стекло (ЖС). В качестве отвердителей применяют углекислый газ, двухкальциевый силикат в виде белого саморассыпающегося феррохромового шлака и сложные эфиры.

В литейном производстве применяют натриевое жидкое стекло – водный раствор силиката натрия с силикатным модулем $M = 2...3$ $\left(M = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}} \right)$ и плотностью 1,3...1,5 г/см³. Ниже приведены характеристики промышленных жидких стекол:

Компонент	Мас. доля, %
SiO ₂	30,8...31,9
Na ₂ O	11,0...12,1
Al ₂ O ₃ , не более	0,25
CaO, не более	0,20
SO ₃ , не более	0,15
Силикатный модуль M	2,4...3,0
Плотность γ , г/см ³	1,3...1,5

В жидком стекле преобладают кремнекислородные молекулярные и ионные соединения – Si(OH)₄HSiO₃–SiO₃, соответствующие им дисиликат-ионы HSi₂O₅⁻ и Si₂O₅⁻ и полисиликат-ионы. Последние достигают диаметра 30 нм и имеют молекулярную массу 150...300 г/моль, а также линейное и циклическое строение, которое обусловлено координационным числом кремния по отношению к кислороду, равным 4. Они могут содержать от 8 до 15 атомов кремния в молекуле олигомера. Ионы натрия в растворимом стекле являются стабилизаторами раствора кремнеполимерных анионов, препятствующими конденсации. Этот факт, характеризующийся значением pH раствора, играет определенную роль в процессах отверждения жидкого стекла, особенно в кинетическом плане.

Ионы Na⁺ могут содержаться в растворе в виде свободной щелочи, а также в силанольных группах кислого характера. Степень полимеризации силикат-ионов в жидком стекле и его вязкость тем выше, чем больше силикатный модуль, меньше содержание свободной щелочи и воды. При

37. Плотность и вязкость жидких стекол

Силикатный модуль M						Вязкость, Па·с
2,2		2,5		3		
$W, \%$	$\gamma, \text{г/см}^3$	$W, \%$	$\gamma, \text{г/см}^3$	$W, \%$	$\gamma, \text{г/см}^3$	
1	2,00	3	4,00	5	6,00	7,0
60	1,43	61	1,41	65	1,36	0,1
57	1,48	58	1,46	61	1,41	0,3
1	2,00	3	4,00	5	6,00	7,0
55	1,50	56	1,48	60	1,43	0,6
54	1,52	55	1,50	59	1,44	1,0
53	1,54	54	1,51	58	1,45	2,0

модуле около 2,5 качественно меняется структура силиката из-за возрастания степени разветвленности анионов, появления трехмерных структур. Соответственно в этой области резко возрастает вязкость ЖС. Из табл. 37 видна связь между содержанием воды W , плотностью γ и вязкостью стекол разного модуля.

На 1 мкм^2 поверхности частицы площадь, занимаемая одной ОН-группой, составляет около $1,2 \text{ нм}^2$. Высокая пористость сетки частиц геля приводит к удерживанию в ней капиллярными силами и водородными связями до 300 молей воды на моль SiO_2 . Скорость образования геля зависит от концентрации SiO_2 , температуры, pH, природы кислоты-инициатора. Его прочность определяется размером глобулей и их упаковкой; обычно координационное число равно 5...6. Размер глобулей в жидкостекольных смесях находится в интервале 5...30 нм. Чем выше концентрация SiO_2 в растворе (в реальных смесях она составляет 30...35 % от массы жидкого силиката), тем мельче глобулы, плотнее упаковка и прочнее гель.

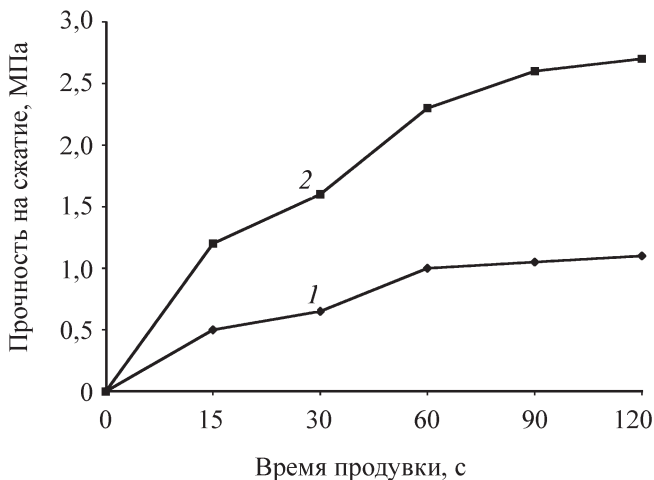


Рис. 10. Прочность смесей, приготовляемых по CO_2 -процессу:

1 – смесь с отечественным ЖС, $M = 2,2$; *2* – смесь с модифицированным ЖС фирмы Foseco

Прочность смесей с отечественным ЖС (кривая *1*) и жидкостекольным связующим фирмы Foseco (кривая *2*) показана на рис. 10.

При холодном отверждении жидкого стекла (например, при CO_2 -процессе) происходит образование гидросиликатов или конденсация кремниевой кислоты с образованием силикагеля и интерглобулярных побочных продуктов, состав которых зависит от вида отвердителя. Силикагель представляет собой бесконечную сетку (гигантскую макромолекулу) из цепочек шаровидных непористых частиц аморфного кремнезема, подобного плавленому кварцу. Частицы связаны между собой силоксановыми Si-O-Si или водородными SiOH-SiOH связями, каждая частица покрыта гидроксильными группами $\equiv\text{SiOH}$, сохранившимися при конденсации. Эти группы занимают все вершины тетраэдров SiO_4 , выходящих на поверхность скелета. Число OH -групп равно примерно 8.

Весьма прочный гель получается за счет образования соединения, медленно выделяющего кислоту. Это, вероятно, имеет место при отверждении жидкого стекла сложными эфирами. Наиболее твердые и прочные гели получают при низких значениях pH, т.е. низкомолекулярных стеклах. При высоком модуле увеличивается размер глобулей и их упак-

38. Кинетика образования карбонатов натрия при CO₂-процессе

Продолжительность продувки, с	Массовая доля, %		Доля прореагировавшего жидкого стекла, %	Прочность смеси на сжатие, МПа
	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃		
0	0	0,02	1,8	–
10	0,04	0,11	10,3	0,59
20	0,05	0,2	19,7	1,03
60	0,03	0,47	43,4	1,50
120	0,23	0,6	61,5	1,48
360	0,45	0,8	92,8	1,40
1200	1,13	0,5	99,9	0,73

ковка становится более рыхлой. На прочность смеси также влияет усадка геля при высушивании или естественном обезвоживании. При высоком модуле гель является плотным и хрупким, поэтому он может растрескиваться.

С изложенных позиций можно объяснить упрочняющее или стабилизирующее действие добавок – полиакрилатов, полиамидов, анионактивных ПАВ, которые позволяют решить проблему разупрочнения (старения) при содержании жидкого стекла 3...4 %.

На отверждение при CO₂-процессе влияют побочные продукты реакции гелеобразования – карбонаты. Образующийся при продувке и выдержке карбонат частично переходит в гидрокарбонат натрия: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = 2\text{NaHCO}_3$. Результаты соответствующих экспериментов приведены в табл. 38.

Кристаллизация карбонатов из пересыщенного водного раствора является одной из причин разупрочнения, которое возникает на практике в результате "передува". Кристаллы могут играть роль надразов, концентраторов напряжений в сетке геля или сами быть источником внутренних напряжений. Определяющую роль в этом играет NaHCO₃, так как предел растворимости его в воде значительно ниже, чем предел растворимости Na₂CO₃.

39. Добавки для модифицирования жидкого стекла

Модификатор	Содержание модификатора на 100 мас.ч. связующего, мас.ч.	Назначение модификатора
Моно- и полисахариды, продукты на их основе (патока-мелясса, зеленая патока, сульфитный щелок, гидролизные сахара)	10...25	Повышение живучести и прочности, улучшение выбиваемости при прогреве до 600...700 °С
Продукты синтеза полисахаридов с малеиновым ангидридом и борной кислотой, с алкиламинами, формальдегидом	До 50	Повышение прочности и ее стабилизация, улучшение выбиваемости
Триполифосфат натрия или другие водорастворимые щелочные фосфаты	2...4	Повышение живучести, улучшение выбиваемости при прогреве выше 600...700 °С
Полифосфаты натрия $\text{Na}_n\text{H}_2\text{P}_n\text{O}_{3n+1}$ при $n = 10...27$	1...7	Повышение живучести, улучшение выбиваемости при прогреве выше 600...700 °С
Щелочные лигносульфонаты технические	До 10	Улучшение выбиваемости

До настоящего времени кардинально не разрешена проблема выбиваемости смесей с жидким стеклом, а также снижение прочности стержней и форм при CO_2 -процессе. В табл. 39 приведены некоторые добавки, позволяющие частично усовершенствовать свойства смесей.

40. Сложные эфиры – отвердители жидкого стекла

Отвердитель	Химическая формула	Продукты отверждения
Моноацетат глицерина (моноацетин)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{COOCH}_3 \\ \\ \text{CHON} - \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	Силикагель, глицерин, ацетат натрия
Диацетат глицерина (диацетин)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{COOCH}_3 \\ \\ \text{CHON} \\ \\ \text{CH}_2\text{COOCH}_3 \end{array}$	То же
Триацетат глицерина (триацетин)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{COOCH}_3 \\ \\ \text{CH}_2\text{COOCH}_3 \\ \\ \text{CH}_2\text{COOCH}_3 \end{array}$	То же
Моноацетат этиленгликоля	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{COOCH}_3 \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	Силикагель, этиленгликоль, ацетат натрия
Диацетат этиленгликоля	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{COOCH}_3 \\ \\ \text{CH}_2\text{COOCH}_3 \end{array}$	То же
Пропиленкарбонат	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C H}_2\text{O}-\text{CHO} \end{array}$	Силикагель, пропиленгликоль, карбонат натрия

Примечание. Все продукты отверждения содержат воду и, возможно, остаточное количество жидкого стекла.

41. Прочность смесей со сложными эфирами

Отвердитель	Живучесть, мин	Прочность на сжатие, МПа, после выдержки, ч			
		1	2	3	24
Ацетаты глицерина:					
1	8	0,47	Нет данных	0,94	4,6
2	18	0,45		2,14	6,3
3	35	0,15		1,65	4,2
Диацетат этиленгликоля	80...90	Нет данных	0,8	2,0	7,4
Пропиленкарбонат	4...5	1,2...1,4	1,5...1,7	3,1	4...4,5

Примечание. Ацетаты глицерина № 1–3 содержат диацетин и триацетин в количестве соответственно 1,8 и 97,4 %; 33,1 и 46,8 %; 62,8 и 31,2 %.

Для повышения текучести добавляют некоторые виды ПАВ. В европейской практике распространены жидкостекольные ХТС, отверждаемые жидкими отвердителями – сложными эфирами (табл. 40).

В последние годы в России также производят сложноэфирные отвердители смешанного состава, обеспечивающие получение ХТС с разной живучестью, для различных климатических условий.

Выпускают пять марок сложноэфирных отвердителей на основе ацетатов этиленгликоля (АЦЭГ), позволяющих изменять живучесть от 5 мин до 2 ч и, соответственно, параметры отверждения.

Содержание АЦЭГ в смесях обычно составляет 10...12 % от массы ЖС (табл. 41). Отверждение начинается с гидролиза с последующим выделением уксусной кислоты, образованием поликремниевой кислоты и конденсацией ее в гель.

В табл. 42 указаны прочностные характеристики с типичными отвердителями европейского производства.

42. Прочность ХТС с отвердителями зарубежного производства

Отвердитель, страна выпуска	Живучесть, мин	Прочность на сжатие, МПа, после выдержки, ч		
		1	2	24
Esterol (Чехия)	20...22	0,05...0,06	0,3...0,35	1,9...2,0
Esterol (Чехия)	4...6	0,9...1,6	1,5...2,0	4,0...5,0
Flodur (Польша)	10...20	0,5...0,7	0,15...0,20*	1,0...1,3*
Flodur (Польша)	6...8	0,65...0,75	0,15...0,20*	0,7...0,9*
Sidur FH-1 (Германия)	15...17	0,5...0,6	1,0...1,1	4,2...4,4
Carset 533 (Великобритания)	10...12	1,0...1,2	2,0...2,2	4,0...5,0

*Прочность на разрыв.

Прочностные характеристики ХТС такого типа зависят от модуля, плотности и содержания жидкого стекла, температуры, качества песка. При повышенном содержании глинистой составляющей, мелких фракций, вредных примесей скорость отверждения и прочность снижаются. Содержание глинистой составляющей более 1...1,5 % требует значительного увеличения расхода ЖС и отвердителя.

Особенностью смесей этого типа является определенная пластичность, которая возникает на начальной стадии и проявляется в замедлении роста прочности. Так как отверждение в поверхностном слое идет быстрее, стержни массой более 80...100 кг после извлечения из ящиков могут деформироваться под влиянием собственной массы даже при высоких значениях прочности.

Наблюдаются и случаи проседания форм при ранней установке тяжелых стержней на жеребейки. Положительным является наличие пластичности при протяжке моделей и извлечении стержней. При содержании отвердителя, превышающем на 30 % оптимальное значение (10 % от

массы ЖС), пластичность существенно снижается именно в наиболее важном интервале времени продолжительностью до 1 ч. В этом случае высокая начальная скорость отверждения, обусловленная избытком отвердителя, подавляет развитие пластических свойств смеси.

Существенным преимуществом смеси с АЦЭГ, особенно с органическими добавками, является улучшенная выбиваемость по сравнению с другими жидкостекольными смесями.

Кроме углекислого газа и сложноэфирных отвердителей применяют смеси с жидким стеклом, отверждаемые порошкообразными отвердителями, из которых в промышленность внедрен саморассыпающийся феррохромовый шлак. Его основной активный компонент – двухкальциевый силикат $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ в α - и β -формах. Упрочнение происходит в результате обменных реакций между ЖС и силикатом кальция. Образуются кальций-натриевые тоберморитоподобные гидросиликаты, обладающие свойствами связующего. У феррохромового шлака массовая доля $\text{CaO} \geq 48\%$, влажность $\leq 1,5\%$, удельная поверхность $\geq 1800\text{--}2000\text{ см}^2/\text{г}$. Активность шлака определяют прибором Вика с иглой диаметром 1,1 мм. Концу затвердевания соответствует время, когда игла погружается в затвердевшую пробу (шлак:жидкое стекло в соотношении 1:1) на 1...2 мм. Оценка шлака по активности:

Не более 30 мин	30...80 мин	Более 80 мин
Повышенная	Средняя	Пониженная

В среднем прочность на сжатие смесей этого типа через 1, 2, 4 и 24 ч составляет соответственно 0,3; 0,5; 0,7 и 1,2 МПа.

2.4. ХТС С ФОСФАТНЫМИ СВЯЗУЮЩИМИ

Фосфатное связующее – это композиция, состоящая из ортофосфорной кислоты и оксида металла – в реальном производстве магния или железа. Характеристика технических железооксидных материалов приведена в табл. 43, материалов с оксидом магния – в табл. 44.

Наиболее плотная структура связующего при взаимодействии с H_3PO_4 образуется у плавленого магнезита. Каустический магнезит весьма активен, но прочных структур не образует. Металлургический магнезит также очень активен, поэтому структура получается малопрочной. Магнезиально-шпинелидные материалы образуют плотную и прочную структуру. Скорость отверждения и прочность фосфатно-магнезиальной

43. Фазовый состав железоксидных материалов

Фаза	Бигхауз- ная пыль	Железо- рудный концентрат	Порошок магнитный черный	Крокус	Трифо- лин
α (Fe_2O_3)	5...10	0	20...25	15...20	15...20
γ (Fe_2O_3)	10...15	0	20...25	20	20
Fe_3O_4	25...30	90...95	40...45	50...55	50...55

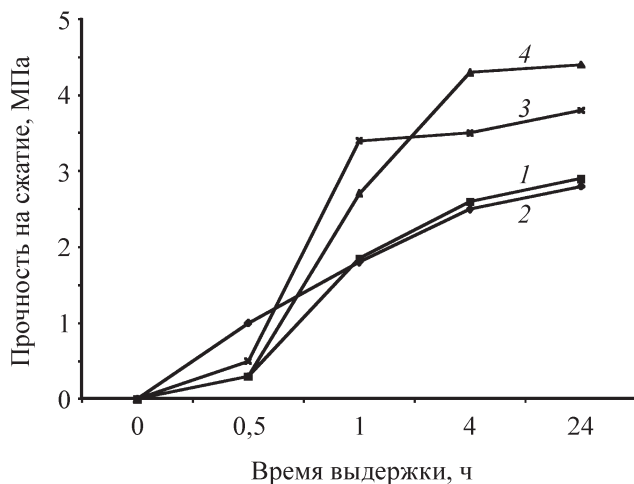


Рис. 11. Прочность фосфатных смесей на основе кварцевого песка с оксидами железа и магния:

составы смесей (кроме песка): 1 – 9,6 % крокуса, 6,4 % 60%-ной фосфорной кислоты (H_3PO_4); 2 – 7 % трифолина, 6 % 60%-ной фосфорной кислоты; 3 – 10 % металлургического магнезита (сводовый кирпич, молотый до значения удельной поверхности $S_{уд} = 2000 \text{ см}^2/\text{г}$), 6 % фосфорной кислоты плотностью $1,6 \text{ г}/\text{см}^3$; 4 – 10 % хромомагнезита (отработанный кирпич, молотый до $S_{уд} = 2000 \text{ см}^2/\text{г}$), 6 % фосфорной кислоты плотностью $1,6 \text{ г}/\text{см}^3$

44. Состав магнийсодержащих материалов

Материал	Массовая доля оксида магния, %	Фазовый состав, %		
		Периклаз	Шпинели	Силикаты
Магнезиты:				
каустический	84,4	82...85	8...12	5...8
металлургический	88,4	90...92	5...7	3...6
плавленный	93,9	95...97	—	1,5...3
Магнезитохромит	64,3	65...70	22...28	11...12
Хромомагнезит	42,4	45...50	40...45	10...12

связующей композиции зависят от параметров кристаллических решеток и плотности магнийсодержащих порошков, которые, в свою очередь, определяются температурой обжига или плавления. Чем она выше, тем меньше параметры решетки, плотнее структура оксида и меньше его реакционная способность.

Основной фазой, образующейся при взаимодействии оксидов магния с H_3PO_4 , является двухзамещенный трехводный фосфат магния $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Для этой системы принципиально важным является наличие в ней аморфной фазы; оптимальная прочность получается при соотношении фаз $C_{\text{аморф}}:C_{\text{крист}} = 0,89 \dots 1,48$.

Оптимизация скорости отверждения высокоактивных магнийсодержащих порошков достигается путем введения в кислоту буферного раствора. Он препятствует повышению pH фосфатной композиции и в течение некоторого времени тормозит затвердевание. Буферным раствором может быть лимонная кислота, лимонно-кислый или щавелевокислый аммоний, уксусно-кислый натрий. Таким способом удается на 30...40 % повысить живучесть фосфатной ХТС. Возможна также пассивация порошка ПАВ (по аналогии с гидрофобными цементами). Ее можно производить мылонафтом, многими другими видами ПАВ при домоле металлургического магнезита до удельной поверхности 250...300 м²/г.

Прочность типичных фосфатных смесей показана на рис. 11.

Вместо пары "оксид–кислота" можно применять в качестве связующих металлофосфатные связки – алюмофосфатную, алюмохромфосфатную и др. Их используют при низкотемпературной (100...150 °С) под-

сушке или без подсушки в сочетании с порошкообразными отвердителями – бигхаузной пылью, железооксидными порошками.

Ecoset 1000/3000 – неорганическое связующее фирмы Ashland – не содержит неорганических растворителей или смол; нет выделений органических летучих компонентов – фенола, формальдегида и т.п. Связующее включает жидкость (Ecoset 1000) и порошкообразный отвердитель (Ecoset 3000). Смеси на этом связующем хорошо регенерируются сухим методом, а также методом горячей оттирки. Применяются для изготовления форм и стержней, хорошо сопротивляются эрозии металлов, пенетрации и образованию просечек. Отсутствуют газовыделения при заливке и выбивке, а также запах. Жидкость Ecoset 1000/3000 имеет $\text{pH} < 1$, плотность $1,43 \text{ г/см}^3$, не горит.

Смесь приемлема для сплавов железа и цветных сплавов. Живучесть и скорость отверждения регулируются соотношением жидкости и порошка. ST изменяется в интервале 10...70 мин, зависит от температуры песка и содержания отвердителя.

Смесь имеет достаточно высокую сырую прочность, позволяет извлекать стержни из ящика через несколько минут после уплотнения. Она легко уплотняется, отлично выбивается. Порошкообразный компонент можно смешивать с песком заранее, до ввода жидкости. Время перемешивания песка с порошком может достигать 2...3 мин, а при высокой скорости – 30...45 с. Наличие щелочных примесей в песке катализирует реакцию и уменьшает живучесть и ST.

Текучесть смесей на связующем Ecoset 1000/3000 меньше, чем песчано-смоляных, поэтому ее надо быстро и качественно уплотнять в углах, поднутрениях и т.д. Наилучшие результаты получаются при окраске спиртовыми красками, особенно муллитовыми, цирконовыми и графитовыми. Предпочтительно применять краски, высыхающие на воздухе. Водные краски могут привести к размягчению поверхностного слоя смеси. Красить надо сразу после протяжки.

Влажность песка для нормального отверждения должна составлять не более 0,2 %. Крупность 45...70 по AFS. Если больше 70, то повышает расход связующего, как и для других типов ХТС.

Составы смесей: для стержней 3,5...3,8 % жидкости, 1,5...1,8 % порошка; для форм 3,5...3,8 % жидкости, 1,2...1,5 % порошка. Если нужно замедлить отверждение, следует снизить содержание порошка.

В России довольно популярна смесь, разработанная ПТИЛИТПРОМом, в которой связующим является композиция, состоящая из жидкого

алюмоборфосфатного концентрата (АБФК) и магнийсодержащего порошкового отвердителя (ПОФК). Состав смеси, мас.ч.: 100 песка кварцевого; 4...5 АБФК; 1,2...1,4 ПОФК.

Смесь обладает следующими свойствами: прочностью на разрыв, МПа: через 1 ч – 0,1...0,15; 3 ч – 0,35...0,4; 24 ч – 0,8...1,0; живучестью 8...15 мин; остаточной прочностью менее 0,05 МПа; газотворностью менее 5 см³/г.

Преимущества и недостатки смеси этого типа по сравнению с песчано-смоляными ХТС следуют из их состава и приведенных свойств. Подчеркивают экологические достоинства, легкую выбиваемость, высокую термостойкость.

2.5. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

За рубежом и в России широко применяют группу вспомогательных материалов, необходимых для работы с оснасткой и со стержнями при их комплектации или сборке. К ним относятся разделительные покрытия, средства для очистки загрязнений оснастки, клеи для склейки стержней.

2.5.1. Разделительные покрытия

Разделительные эмульсии представляют собой композиции на основе кремнийорганической жидкости, растворителя и вспомогательных добавок.

В зависимости от растворителя фирмой "Полион-П" установлены следующие марки разделительных эмульсий: "Полиэр-А" – на толуоле, "Полиэр-Б" – на бензине и "Полиэр-Х" – на хлороформе (табл. 45).

Разделительные эмульсии наносят по заданной программе напылением на рабочую поверхность оснастки с помощью специального устройства, входящего в конструкцию стержневых машин. Интервал между нанесениями очередного слоя покрытия зависит от сложности и качества рабочей поверхности оснастки, состава связующего, размещения и конструкции надувных сопел, давления надува. В среднем он составляет 15...20 надувов. Для конкретных производственных условий этот интервал устанавливается опытным путем; критериями служат появление на поверхности оснастки следов затвердевшей смеси и повышение силы протяжки при извлечении стержня, что может приводить к поломкам.

45. Физико-химические свойства разделительных эмульсий

Характеристика	Норма исполнения
Внешний вид	Жидкость от бесцветного до светло-желтого цвета
Плотность при температуре $(20 \pm 0,1)$ °С, кг/м ³ :	
"Полиэр-А"	860...920
"Полиэр-Б"	760...820
"Полиэр-Х"	1200...1300
Массовая доля нелетучих веществ, %, в пределах	30,0...55,0
Массовая доля воды, %, не более	0,2

Рецептуры возможных разделительных покрытий для индивидуального изготовления представлены в справочнике [3].

Ряд покрытий различного состава и назначения производят зарубежные фирмы. Для примера ниже приведены характеристики разделительных покрытий, выпускаемых для ХТС фирмой Huttene-Albertus.

Покрытие марки "Loxia 4031" на основе воска с алюминиевым пигментом и органическим растворителем обладает плотностью 0,77 г/см³. Оно предназначено для таких видов ХТС, как полиуретановые, Resol-СО₂, продуваемые метилформиатом и сернистым ангидридом. После напыления тонкой пленки этого покрытия необходимо сделать паузу до испарения растворителя и образования на поверхности оснастки прочной пленки.

Покрытие марки "Loxia 5900" на силиконовой основе в органическом растворителе обладает плотностью 0,72 г/см³. Оно предназначено для полиуретановых смесей, процесса с метилформиатом, смесей, отверждаемых кислотами, жидкостекольных смесей, отверждаемых сложными эфирами и углекислым газом. Наносится пульверизатором с образованием прозрачной пленки многократного действия.

Покрытие марки "Trennmittel A1" на основе алюминиевой пудры, воска и органического растворителя плотностью 1,3...1,5 г/см³. Предназначено для любых составов и способов отверждения ХТС. После испарения растворителя оно образует вязкую пленку длительного действия, частично компенсирует возможную шероховатость окрашенной поверхности оснастки.

Покрытие "Loxia 401" на органическом растворе восковой композиции плотностью 0,74 г/см³. Предназначено для фурановых и фенольных ХТС. Наносится пульверизатором, после испарения растворителя образует вязкую пленку многократного действия.

2.5.2. Средства для очистки оснастки

Фирма "Полион-П" производит отмывающий состав "Полиос-П" для технологий Cold-box-amine и других технологий с продувкой газообразными реагентами – метилформиатом и SO₂.

У большинства фирм этот материал включает *N*-метилпирролидон и в качестве разбавителя метилхлороформ; он предназначен для химической очистки поверхности металлической оснастки от остатков разделительного покрытия и полимерной пленки связующего. Поставляется в стальных бочках или в специальной таре по согласованию производителя с заказчиком. По своим физико-химическим показателям соответствует требованиям, указанным в табл. 46.

Отмывающий состав наносят кистью или тампоном из мягкой ткани на рабочую поверхность стержневого ящика и выдерживают в течение 30...40 мин. Затем поверхность протирают сухим тампоном. Желательно эту операцию повторять 2 раза. Очистку поверхности ящика следует проводить после образования на ней заметной твердой пленки толщиной 0,2...0,5 мм, способной повлиять на точность стержня и на прилипаемость смеси к поверхности ящика. Рекомендуется проводить в наладочном режиме очистку один раз в 10...15 дней.

В последние годы в западных странах применяют технологию неабразивной очистки оснастки гранулами сухого льда. В России оборудование для соответствующего процесса предлагает фирма ООО "Деметра-2000".

При соприкосновении с поверхностью сухой лед преобразуется в газ, поэтому при очистке не остается вторичного загрязнения, как при

46. Физико-химические показатели отмывающего состава

Характеристика	Норма исполнения
Внешний вид	Однородная жидкость светло-желтого цвета
Плотность, кг/м ³	1050...1100
Показатель преломления n_D^{20} , не менее	1,464

традиционных методах струйной обработки песком, стеклом, ореховой скорлупой и др. При этом ледяная струя не повреждает поверхности, углы, мелкие части, безопасна для втулок, вкладышей, болтов, шпилек, скользящих частей механизмов.

По объему углекислый газ превосходит сухой лед примерно в 800 раз, поэтому в точке воздействия происходит микровзрыв. Из-за разности температур на поверхности оснастки возникает термический шок. При этом очищаемый материал не повреждается, даже если это пластик, латунь, алюминий и т.д.

Применяют два типа аппаратов для подачи гранул сухого льда, отличающихся способом подведения гранул к соплу: двухшланговый и одношланговый. Кроме того, аппараты делятся на пневматические и электропневматические.

2.5.3. Клей-расплав

Для склейки стержней кроме показателей качества склейки важнейшими показателями являются простота нанесения клея и скорость его схватывания до получения технологически необходимой прочности клеевого соединения. Поэтому для подобных условий получили широкое применение жидкие клеи-расплавы, которые позво-

47. Свойства клея-расплава "Политерм-П"

Характеристика	Норма исполнения
Внешний вид	Гранулы светло-желтого цвета
Прочность склейки при разрыве песчано-смоляных образцов, МПа, не менее	1,1
Температура размягчения, °С	80...90
Температура каплепадения, °С	55...60
Время схватывания, с	30...60
Показатель текучести расплава, г/10 мин	30...40

ляют вписаться в специфические условия автоматизированного конвейерного производства.

В России клей указанного типа под названием "Политерм-П" поставляет фирма "Полион-П". Он представляет собой композицию на основе сополимера этилена с винилацетатом (сэвилена), эфира канифоли, полиэтиленового воска и целевых добавок.

Клей-расплав "Политерм-П" выпускают в виде гранул произвольной формы размером не более 10 мм. Показатели свойств клея-расплава должны соответствовать требованиям и нормам, указанным в табл. 47.

Клей готовят засыпкой гранул в обогреваемый металлический или футерованный сосуд с постоянной температурой рабочего объема 150...160 °С. Емкость сосуда должна соответствовать потребности в клее на 1...2 дня работы. После засыпки и полного расплавления клея он готов к употреблению. Клей следует наносить только на одну из склеиваемых поверхностей стержня каплями или "ручейком". Склейку проводят немедленно после нанесения клея, плотно прижав склеиваемые части стержня на 5...10 с.

Специфическим испытанием клея при входном контроле является определение прочности связи при разрыве. Ее определяют по ГОСТ 209–75 на отвержденных образцах, изготовленных из песчано-смоляной смеси. Образец для испытаний представляет собой две половинки "восьмерки", основания которых соединены клеем-расплавом. Размеры образца соблюдают по ГОСТ 23409.7–78.

Перед склеиванием поверхности образца очищают от пыли. Клей, расплавленный при температуре 160 °С, наносят наливом на основание одной половины образца "восьмерки". После нанесения клея образцы соединяют попарно без перекосов и выдерживают под грузом ($1,0 \pm 0,5$) кг в течение 1 ч и измеряют прочность склейки.

Глава 3

ХТС, ОТВЕРЖДАЕМЫЕ ГАЗООБРАЗНЫМИ РЕАГЕНТАМИ

В современном литейном производстве применяют следующие ХТС этого типа.

1. ХТС с полиуретановыми композициями, отверждаемые парами третичных аминов – Cold-box-amine-процесс.

2. ХТС на базе специального фенольного связующего с продувкой парами метилформиата – MF-процесс или процесс Бета-сет.

3. ХТС с эпокси-акрилатным или фурановым связующим, отверждаемые продувкой SO_2 – Ероху- SO_2 -процесс или Furan- SO_2 -процесс.

4. ХТС на базе специального фенольного связующего с продувкой углекислым газом – Resol- CO_2 -процесс.

5. Классические ХТС с жидким стеклом – CO_2 -процесс.

В США в массовом производстве 98 % стержней производят по технологиям 1 и 3.

Общая технико-экономическая характеристика различных технологий приведена в табл. 48. Средние технологические показатели технологий 1 и 3 для условий США также представлены в табл. 49.

48. Общая характеристика технологий с применением ХТС, отверждаемых газообразными реагентами

Состав смеси, %	Технология			
	CO_2 -процесс	Cold-box-amine-процесс (1)	Ероху- SO_2 -процесс (2)	MF-процесс (Бета-сет-процесс) (3)
	4 ЖС, 3CO_2	Общее содержание связующего – 1,2	Общее содержание связующего – 1,4	1,8 смолы, 0,7 метилформиата
Стоимость смеси*, включая песок, дол. США	10,2	10,3	13,5	14,5

Окончание табл. 48

Состав смеси, %	Технология			
	CO ₂ -про- цесс	Cold-box- amine- процесс (1)	Ероху-SO ₂ - процесс (2)	MF-процесс (Бета-сет- процесс) (3)
	4 ЖС, 3CO ₂	Общее содержание связующего – 1,2	Общее содер- жание связу- ющего – 1,4	1,8 смолы, 0,7 метил- формиата
Стоимость смеси на одну отливку (9 кг стержней), дол. США	0,92	0,93	1,22	1,23
Длительность цикла, с	72	52	50	65
Производительность, шт/ч	50	69	72	54
Стоимость смеси и оплата труда изготовителей стержней на одну отливку, дол. США	1,56	1,39	1,66	1,88
Брак стержней, %	10	5	5	7
Стоимость брака, дол. США	0,16	0,07	0,08	0,13
Стоимость 9 кг стержней* (на одну отливку, дол. США)	1,72	1,46	1,72	2,01

* Не учтена разница в стоимости за счет более высоких расходов на выбивку стержней и очистку отливок по CO₂-технологии.

49. Технологические параметры смесей для процессов Epoxy-SO₂ и Cold-box-amine

Процесс	Прочность на разрыв, МПа, после выдержки в течение, ч				Живучесть, ч	Расход газа, кг/1 т смеси
	1	2	3	4		
Epoxy-SO ₂	0,5	1,1	1,2	1,7	Св. 24	1,2
Cold-box-amine	0,8	1,5	1,7	1,7	2...4	1,4

3.1. ОТВЕРЖДЕНИЕ АМИНАМИ

3.1.1. Общие вопросы

Процесс Cold-box-amine был разработан и начал применяться в промышленности фирмой Ashland (США) в 1968 г.

Смесь твердеет под влиянием катализатора – основного третичного амина. Область применения – все виды отливок из серого высокопрочного чугуна, стали, цветных сплавов. Для цветных сплавов применяют специальный комбинированный изоцианатный компонент, который обеспечивает хорошую выбиваемость при низких температурах заливки.

Принципиальным свойством смесей такого типа является высокая прочность сразу после продувки и при последующем хранении стержней (или стандартных образцов) (рис. 12).

Видно, что прочность даже при минимальном содержании связующего является достаточно высокой. В производстве моторного литья в автомобилестроении, в том числе для сложнейших стержней водяных рубашек, содержание фенольной смолы и полиизоцианата в связующем составляет в сумме 1,4...1,8 мас.ч. при соотношении компонентов 50:50. Соотношение этих компонентов для чугунного литья, как правило, составляет 50:50, для стального литья – 55:45, для отливок из алюминия – 45:55. Эти изменения связаны с необходимостью повысить термостойкость в первом случае и улучшить выбиваемость во втором. Здесь учитывается преобладающее влияние фенольной смолы на термостойкость и, соответственно, на выбиваемость. С другой стороны, полиизоцианат (чаще

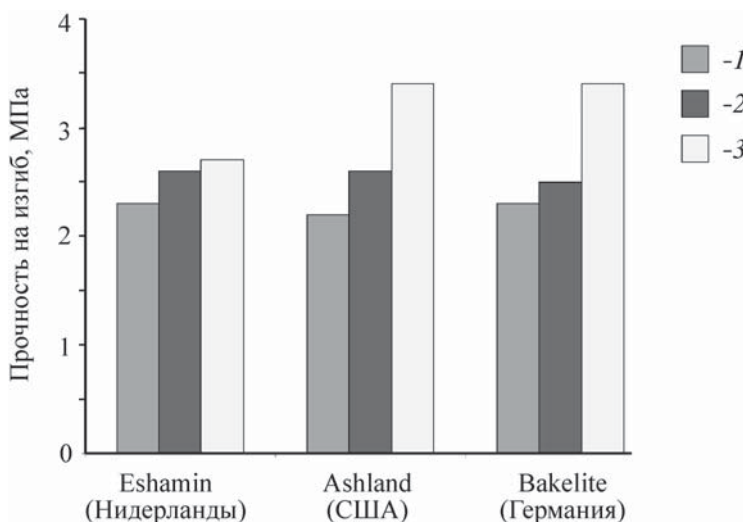


Рис. 12. Прочность смесей со связующими различных производителей:

1 – сразу после продувки отвердителем; 2 – через 1 ч; 3 – через 24 ч

всего дифенилметандиизоцианат – MDI) существенно меняет скорость роста прочности в период продувки стержня амином. Расход триэтиламина в среднем составляет 800 г/т смеси, диметилэтиламина – 600 г. Нормативные данные по связующим для данного процесса приведены на примере одного из действующих технических условий (табл. 50).

Связующее представляет собой композицию, состоящую из трех компонентов: *A* – раствора фенолоформальдегидной смолы; *B* – раствора полиизоцианата; *K* – третичного амина.

50. Показатели типичного связующего

Характеристика	Норма исполнения
Внешний вид:	
компонента <i>A</i>	Жидкость от светло-желтого до темно-коричневого цвета
компонента <i>B</i>	Жидкость темно-коричневого цвета

Окончание табл. 50

Характеристика	Норма исполнения
Условная вязкость при 20 °С по вискозиметру ВЗ-246 (диаметр сопла 4 мм), с, не более:	
компонента <i>A</i>	75
компонента <i>B</i>	35
Плотность, кг/м ³ :	
компонента <i>A</i>	1000...1100
компонента <i>B</i>	1100...1200
компонента <i>K</i>	725...735
Массовая доля третичного амина в компоненте <i>K</i> , %, не менее	98,3
Предел прочности при разрыве стандартных образцов после продувки, МПа, не менее, через:	
1 ч	0,8
3 ч	1,0
24 ч	1,4
Живучесть смеси, ч, не менее	2,0

Для входного и текущего контроля при процессе Cold-box-amine важными являются методики испытаний свойств связующего и смеси, приведенные ниже.

Отбор проб. Точечные пробы компонентов связующего массой 0,5 кг отбирают пробоотборником, соединяют вместе, тщательно перемешивают и отбирают среднюю пробу в количестве не менее 0,5 кг, которую помещают в чистую, сухую, плотно закрываемую банку. На банку наклеивают этикетку с указанием наименования продукта, номера партии и даты отбора пробы.

Вязкость. Условную вязкость компонентов *A* и *B* связующего определяют при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ на вискозиметре ВЗ-246 (сопло 4 мм) по ГОСТ 1532–81.

Плотность. Плотность определяют с помощью ареометров и цилиндров стеклянных по ГОСТ 18481–81 при $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Массовую долю третичного амина в компоненте *K* определяют по ГОСТ 25266–82.

Прочность образцов при разрыве. *Аппаратура и материалы:* весы общего назначения, класс точности 4, наибольший предел взвешивания 10 кг, ГОСТ 29329–92 для взвешивания песка.

Весы общего назначения, класс точности 3, наибольший предел взвешивания 500 г или класс точности 4, наибольший предел взвешивания 200 г, ГОСТ 24104–2001, для взвешивания связующего.

Комплект гирь 3-го класса Г-3-1110 и гири КГ-3-1, ГОСТ 7328–2001; комплект гирь 4-го класса Г-4-10210 и гири КГ-4-1.

Термометр лабораторный, ГОСТ 28498–90; с ценой деления $0,5^\circ\text{C}$; пределы измерения $0...50^\circ\text{C}$.

Секундомер технический.

Смесители лопастные или катковые.

Стержневая оснастка, используемая для одновременного изготовления двух или нескольких образцов; тип образца – стандартная "восьмерка" в соответствии с ГОСТ 23409.7–78.

Любой прибор, позволяющий измерять прочность стандартных образцов смеси при разрыве с точностью не ниже 0,01 МПа.

Песок кварцевый марки 02.

Состав песчано-смоляной смеси, мас. ч.: наполнитель – песок кварцевый – 100; компонент *A* связующего – 0,8; компонент *B* связующего – 0,8.

Приготовление песчано-смоляной смеси. Все компоненты песчано-смоляной смеси должны иметь температуру $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Влажность песка не более 0,1 %; рН = 6,5...7,5.

Влажность песка определяют по ГОСТ 23409.5–78, рН – по ГОСТ 23409.22.

Порядок приготовления смеси: взвешенный песок засыпают в смеситель, добавляют компонент *B* и перемешивают 60 с, затем добавляют компонент *A* и перемешивают 60 с.

Образцы изготавливают сразу после приготовления смеси. Стандартные образцы-восьмерки для определения прочности на разрыв хранят при относительной влажности воздуха не более 70 %.

Изготовление и отверждение образцов для определения предела прочности на растяжение. Оборудование для изготовления образцов:

пескодувный или пескострельный автомат или другое оборудование со стержневым ящиком для получения стандартных образцов-восьмерок; газогенератор для преобразования жидкого компонента *K* в газообразный;

система дозирования и распределения газа-катализатора в стержневой ящик для отверждения образцов.

Смесь засыпают в стакан и устанавливают в корпус пескодувного или пескострельного резервуара для "надува". На прижимной стол устанавливают разборный стержневой ящик для получения образцов-восьмерок. Возможно использование стержневого ящика для изготовления образцов другой конструкции.

Получение и продувку образцов проводят по следующему режиму: давление сжатого воздуха в ресивере 0,25 МПа; давление продувки компонентом *K* 0,35 МПа; время продувки компонентом *K* 5 с; время вентиляции ящика 2 с; доза компонента *K* на два образца 0,58 г.

Изготовленные образцы подвергают испытаниям через 1, 3 и 24 ч после изготовления – по три образца на каждый интервал времени.

Живучесть смеси. Для определения живучести измеряют прочность образцов сразу после продувки. Образцы изготавливают из смеси, хранящейся с момента ее приготовления в закрытой емкости.

Прочность определяют каждые 60 мин, начиная с момента приготовления смеси. За живучесть смеси принимают период времени ее хранения, при котором снижение прочности отвержденных образцов не превышает 30 %.

Приготовление песчано-смоляной смеси, изготовление, отверждение и определение предела прочности образцов – как описано выше.

Свойства связующих многих производителей в Европе и США схожи. При синтезе фенольной смолы и применяемых растворителей и добавок за основу ими взяты химические и технологические разработки, выполненные в лабораториях фирмы Ashland Chemical. С учетом того что в отечественной печати мало сведений по производству и свойствам материалов для процесса Cold-box-amine, приведем краткие сведения о них, заимствованные из периодических изданий, рекламных материалов и патентов.

Первым этапом в производстве связующей композиции является синтез фенольной смолы. Типичным примером является описание синтеза по одному из патентов США. Загружают 858 г фенола, около 223 г нонилфенола, содержащего не менее 90 % паранонилфенола, 418 г 91%-ного параформальдегида, 0,6 г ацетата цинка. Вместо ацетата цинка иногда вводят в качестве катализатора свинцовые мыла C9–C12 монокарбоновых кислот, нафтенат или октоат свинца. Реакционную смесь нагревают до 112...114 °С,

выдерживают при этой температуре 1...1,5 ч под вакуумом до содержания свободного формальдегида менее 8 %. Затем нагревают в условиях атмосферной дегидратации при 125 °С и снижения содержания свободного формальдегида до 1 %. Затем проводят дегидратацию в вакууме около 10 мин. В результате получают 1286 г смолы, которую растворяют смесью ароматического и алифатического растворителей, туда же вводят силиан.

Состав полученного продукта, мас.ч.: смолы 55; алифатического растворителя 14; ароматического растворителя 23,3; силана 0,8.

Из группы силианов обычно выбирают гамма-глицидоксипропилтриметоксисилан, гамма-аминопропилтриэтоксисилан или гамма-аминопропилтриметоксисилан.

В качестве фенольной смолы применяют также алкоксимодифицированные бензилэфирные фенольные смолы. Их готовят так же, как и немодифицированные бензилэфирные фенольные смолы, за исключением низшего алкильного спирта, обычно метанола, который реагирует с фенолом и формальдегидом или с немодифицированной фенольной смолой.

В качестве полиизоцианатной части связующего (ПИЦ) в смесь вводят, например, раствор полиметилениполифенилизоцианата, который содержит 32 % групп NCO с функциональностью 2,4...2,7. Применяют и другие виды изоцианатов с аналогичными свойствами. В эту часть вводят также ароматический растворитель, уайт-спирит и добавку, повышающую живучесть при следующем примерном соотношении, мас.ч.: 73,3 полиизоцианата; 24 ароматического растворителя; 2,3 уайта-спирита; 0,8 добавки.

Значительное влияние на свойства обоих компонентов связующего имеет выбор растворителей. Полярные растворители протонного и апротонного типов хорошо растворяют смолу, но ограниченно применимы для ПИЦ. Ароматические растворители хорошо совместимы с ПИЦ, но плохо совместимы со смолой. Поэтому используют комбинацию того и другого типов – полярных и ароматических растворителей.

Ароматическими неполярными растворителями могут быть бензол, толуол, ксилол, этилбензол или их смесь с содержанием ароматики более 90 % и температурой кипения 130...230 °С.

Полярные растворители: фурфурол, фуриловый спирт, целлозольвацетат, бутилцеллозольв, бутилкарбитол, диацетоналкоголь и др. Дают хорошие результаты циклические кетоны, например изофорон (C₉H₁₄O). Керосин и другие алифатические растворители также могут применяться как компоненты растворителя. В качестве растворителя смолы целесообразно применять алкильный эфир фталевой кислоты (фталаталкилэфир) – он повышает прочность, влагостойкость и т.д. Его использование предпочтительнее изофорона.

Компонент 1 связующего содержит как минимум один органический растворитель – 40...60 % от фенольной составляющей. Для него – это ароматические растворители, простые эфиры, сложные эфиры, спирты, их смесь. Нужна добавка жирных кислот в смесь, смолу и ПИЦ – они снижают прилипание.

В последние годы при обработке технологии синтеза и состава исходных материалов выполнен ряд усовершенствований, направленных на модернизацию технологических свойств.

Предложены методы снижения прилипаемости смесей к металлической оснастке, в том числе без применения разделительного покрытия. Для оценки их эффективности фиксировали изменение силы выдавливания металлического цилиндра из массы затвердевшей смеси в зависимости от числа циклов его формовки.

Диаметр стального цилиндра 50 мм, высота 100 мм. Смесь содержала 1,5 % связующего при соотношении его компонентов 1:1, давление триэтиламина (ТЭА) составляло 1,4 атм, давление воздуха при очистке образцов 4,2 атм. Исходный ПИЦ имеет 15...35 % групп NCO.

Результат таких экспериментов показан на рис. 13.

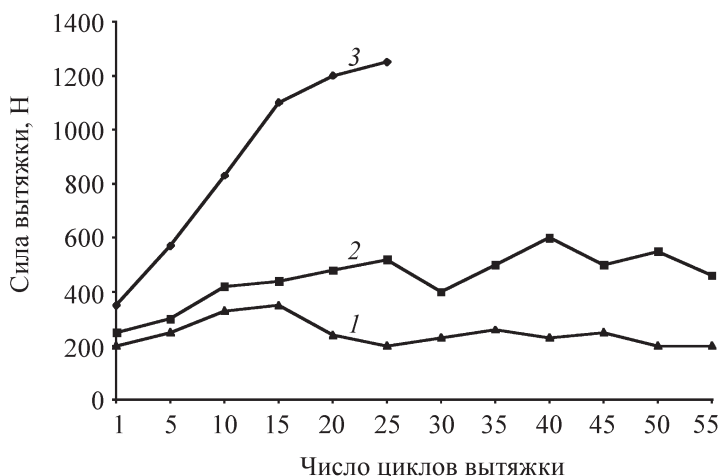


Рис. 13. Прилипание металлического образца к смеси, содержащей немодифицированный (1) и модифицированные (2, 3) ПИЦ: 2 и 3 – ПИЦ содержит соответственно 4,2 и 8,4 % спирта

51. Прочность на разрыв смесей до и после модифицирования олеиламином, МПа

Выдержка образцов после продувки	До модифицирования	После модифицирования
Смесь без выдержки		
1 мин	0,86	0,90
1 ч	1,22	1,2
24 ч	1,26	1,17
24 ч при влажности 100 %	0,27	0,12
Смесь с выдержкой до продувки 3 ч		
1 мин	0,77	0,74
24 ч	1,14	0,87
Образцы после окраски и сушки, горячие	0,27	0,21
Образцы после окраски и сушки, холодные	0,77	0,53

К группе добавок, снижающих прилипаемость, относятся также жирные кислоты (чаще всего олеиновая кислота), жирные спирты и их производные, силиконовые материалы – диметилфенилсилоксан, дифенилполисилоксан.

В качестве смазки, снижающей прилипание, предпочтительны высыхающие масла, например льняное масло – 4...10 % от общего количества связующей композиции; оно должно быть в составе растворителя, в последний может также входить диалкилфталат.

Высыхающими маслами могут быть глицериды жирных кислот: кукурузное, кокосовое, хлопковое, пальмовое, соевое, льняное, тунговое масла. Высыхающее масло вводят в состав растворителя, дополнительно он может содержать диалкилфталат.

Другим вариантом может быть модифицирование ПИЦ амином, в частности олеиламином, в количестве до 2 % от массы исходного продукта. Технологические свойства смесей до и после модифицирования приведены в табл. 51 и 52.

52. Сравнение модифицированной и немодифицированной смесей по показателю прилипания (давлению выжимания образца при нескольких циклах)

Количество циклов	Сила выжимания, Н	
	До модифицирования	После модифицирования
1	0,9	0,12
5	1,7	0,21
10	2,5	0,22
15	3	0,42
20	3,2	0,34
25	3,5	0,36
30	–	0,56
1	2	0,3
40	–	0,73
50	–	0,40
60	–	0,61

Взамен фталаилхлорида эффективно действуют галоидные соединения фосфора: PCl_3 , PCl_5 , $POCl_3$, фенолфосфодихлорид, бензолфосфордихлорид и их смеси в количестве 0,1...1 % от связующей композиции.

Значительные исследования посвящены поиску добавок, увеличивающих живучесть смесей (табл. 53). Наиболее эффективными из них оказались фосфорорганические и хлористо-фосфорные соединения. К первой группе относятся, например, органогалоидфосфаты, в частности фталаилхлорид, монофенилдихлорофосфат в виде 45%-ного раствора в хлорбензоле в количестве 0,004...0,008 мас.ч. на 100 мас.ч. песка; живучесть при этом составляет 3...5 ч.

53. Прочность смесей с добавками, увеличивающими живучесть, МПа

Добавка	Выдержка смеси до продувки, ч			
	0	2	4	6
Фенилфосфоник-дихлорид	0,9	0,9	0,8	0,6
Дихлорфенилфосфин	1,0	0,9	0,8	0,6
Хлордифенилфосфин	0,9	0,9	0,6	0,6
Бензоилхлорид	0,9	0,8	0,4	Смесь не вдували

Ниже проиллюстрирована эффективность применения галоидных соединений фосфора (прочность на разрыв приведена в МПа; образцы готовили после 5 ч выдержки смеси):

POCl_3 0,3 %; $\sigma_0 = 0,49$; $\sigma_{24} = 0,84$;

POCl_3 0,45; $\sigma_0 = 0,64$; $\sigma_{24} = 0,95$;

POCl_3 0,6 %; $\sigma_0 = 0,84$; $\sigma_{24} = 1,14$;

POCl_3 0,75 %; $\sigma_0 = 0,85$; $\sigma_{24} = 1,1$;

PCl_3 0,6 %; $\sigma_0 = 0,77$; $\sigma_{24} = 0,49$;

PCl_3 0,55 % от ПИЦ; $\sigma_0 = 0,75$; $\sigma_{24} = 1,11$;

PCl_3 0,4 %; $\sigma_0 = 0,60$; $\sigma_{24} = 0,53$.

Компонент 2 в некоторых видах связующего с повышенной живучестью содержит ПИЦ, модифицированный алифатическим спиртом, имеющим активный атом водорода. В результате содержание NCO уменьшается при реакции ПИЦ со спиртом. Уровень уменьшения зависит от количества модификатора. Однако в модифицированном ПИЦ содержится достаточно ИЦ-групп, чтобы отвердить фенольный компонент. Модифицирование уменьшает прилипаемость, повышает водостойкость, улучшает объемное твердение, повышает прочность.

ПИЦ имеет функциональность не менее 2. Модифицированный ПИЦ – это ПИЦ, который прореагировал с алифатическим спиртом, в результате чего минимум несколько ИЦ-групп образуют уретановую сетку.

Модифицированный ПИЦ может быть растворен в немодифицированном ПИЦ, включая алифатический, циклоалифатический, ароматический, гибридный ПИЦ, квазипреполимер и преполимер, и они же могут

быть применены для приготовления модифицированного ПИЦ. Модифицированный ПИЦ может быть приготовлен сразу требуемой концентрации путем добавления одноатомного спирта во время образования компонента 2. Количество модифицированного ПИЦ в компоненте 2 равно 2...16 %. После модифицирования ПИЦ имеет 12...33 % NCO-групп. ПИЦ, приемлемые для модифицирования, – ароматический, алифатический и/или циклоалифатический и их смеси. Типичный ПИЦ ароматической группы – предпочтительно 4,4¹ – дифенилметандиизоцианат и полиметиленаполифениленполиизоцианат.

Молекула спирта может содержать 6...30 атомов углерода, включает углерод-углеродные двойные связи, тройные ароматические кольца и другие функциональные группы, но не реагирующие с изоцианатом. Водород может быть частично или полностью заменен фтором. Мольное соотношение спирта и ПИЦ, используемого для модифицирования, (20...30):(80...70). Модифицированный ПИЦ может быть растворен в немодифицированном ПИЦ, таком же, как и тот, который применяли для модифицирования.

ПИЦ применяют в достаточной концентрации, чтобы обеспечить затвердевание смолы в присутствии амина. Отношение ИЦ-групп ПИЦ к гидроксилам смолы составляет (0,9:1,1)...(1,1:0,9). Если ПИЦ твердый и вязкий, то его растворяют в органическом растворителе до 80%-ной концентрации.

Ароматические растворители, несмотря на то что совместимы с ПИЦ, менее совместимы со смолой. Ароматические растворители – это бензол, толуол, ксилол, этилбензол и их смеси. Температура кипения ароматических растворителей 138...232 °С.

Высыхающие масла, вводимые в компонент 2, являются синтетическими или натуральными и включают глицириды жирных кислот с двумя или более двойными связями, они адсорбируют кислород при выдержке на воздухе и дают пероксиды, которые катализируют полимеризацию ненасыщенной части смолы.

Другими дополнительными компонентами связующего являются агент для уменьшения прилипаемости (как правило, спирт) и силан для увеличения влагостойкости. Смесь может содержать дополнительно оксид железа, льняное волокно, древесную муку, пек, огнеупорную глину и др. Содержание влаги должно быть менее 0,5...1 %. Если воды больше, необходим избыток ПИЦ.

В табл. 54 и 55 показаны результаты модифицирования ПИЦ спиртом, с использованием которого изготовили связующее, содержащее компоненты 1 и 2 в соотношении 55:45. Далее приготовили смеси, содержащие 1,5 % этого связующего.

Компонент 1 содержал, мас.ч.: 55 смолы; 14 алифатического растворителя; 23,3 ароматического растворителя; 0,8 силана. Компонент 2 содержал, мас.ч.: 23,6 ароматического растворителя; 2,3 уайт-спирита; 0,8 удлинителя живучести и, кроме этого, различное количество ПИЦ и модификатора (спирта), снижающего прилипаемость.

54. Прочность смесей (без предварительной выдержки), содержащих модифицированный спиртом ПИЦ

Массовая доля спирта, %	Время выдержки образцов после продувки			
	0,5 мин	1 ч	24 ч	24 ч при влажности 100 %
4,2	1,1	1,0	1,44	0,08
8,4	1,2	1,5	1,9	0,6
16,8	0,7	1,2	1,3	0,8

55. Прилипаемость смесей с модифицированными ПИЦ

Массовая доля спирта, %	Число циклов									
	1	5	10	15	20	25	30	40	50	60
	Сила выдавливания, Н									
4,2	280	689	1374	1162	1266	1311	–	–	–	–
8,4	217	295	445	426	513	598	381	658	562	426
16,8	236	281	322	327	254	254	199	227	213	277

В значительном объеме процесс применяется для стержней при изготовлении в кокиль отливок из алюминия и других цветных сплавов. При литье низкотемпературных сплавов проблемной является выбиваемость стержней. Трудоемкость, энергозатраты на выбивку повышаются, часть стержневой смеси попадает в систему термообработки отливок и т.д. Простейшим средством облегчения выбивки является снижение общего содержания связующего до 0,8...1 мас.ч. Однако при этом снижается прочность, могут возникать поломки и деформации стержней при протяжке и сборке.

Термическое и механическое разрушение стержней связано с разрушением мостиков связующего. Термическое разрушение происходит из-за пиролиза (связанных с нагревом химических изменений) или окисления (реакции смолы с кислородом, выделяющимся из CO_2 , воды или других оксидов). В мелких стержнях раньше происходит пиролиз. Степень термического разложения стержня связана с составом смолы, температурой, временем выдержки, наличием кислорода. Для нормальной выбивки соотношение смесь:металл должно составлять примерно 1:1,4.

Радикальным направлением развития стали новые рецептуры и технологии синтеза компонентов связующего, которые снижают прочность смеси при нагреве и, соответственно, улучшают выбиваемость.

Для оценки выбиваемости используют технологическую пробу в виде кольцевой отливки со стержнями. Семь стержней в виде стандартных образцов ставят в форму с литниковой системой; толщина стенки отливки вокруг каждого стержня 6...7 мм. Затем форму заливают алюминием и помещают в контейнер емкостью 4 л. Его вращают на агитроликах 5 мин. То, что высыпалось, сравнивают с начальной массой стержней; процент высыпавшейся смеси есть мера выбиваемости.

В одном из разработанных для этой цели связующих фенольный компонент представляет собой смесь ортозамещенных новолачного и резольного олигомеров, в состав которой входят 4...10 % глицеридов жирных кислот (растительные масла или их смесь), силан, 35...50 % растворителей. При синтезе фенольной части используют замещенные фенолы: 2,6-ксиленол, ортокрезол, ксиленол и др. В смеси олигомеров большую часть должен составлять новолак. Применение ортозамещенных фенолов новолачного типа улучшает выбиваемость смесей для спла-

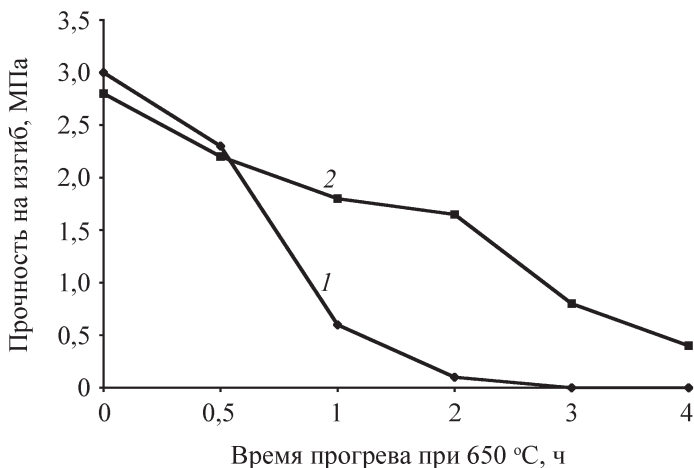


Рис. 14. Прочность на изгиб смесей, изготавливаемых по Cold-box-amine-процессу, после нагрева:

1 – соотношение компонентов 1 и 2 в связующем 0,45 : 0,45;

2 – 0,45 : 0,65

вов с температурой плавления не более 1000 °С, в то же время придает смесям хорошую прочность и живучесть.

В качестве компонента 2 в смесь входит дифенилметандиизоцианат или трифенилметандиизоцианат или их смесь. Дополнительно растворитель может содержать диалкилфталат. На технологической пробе выбиваемость может составить 40...100 % при сохранении приемлемых показателей прочности и живучести.

В другом варианте фенольная часть заменена сложноэфирным соединением, лучше всего водным раствором этиленгликоля концентрации 70...80 %. Компонент 2 при этом имеет обычный состав. Принципиальная замена состава фенольной части существенно снижает термостойкость полиуретанового полимера и, следовательно, улучшает выбиваемость. При трехминутном вращении пробной отливки высыпается 100 % стержневой смеси.

Горячая прочность смесей для чугуна и алюминия приведена на рис. 14 и в табл. 56.

56. Прочность легковыбиваемой смеси с этиленгликолем при соотношении компонентов 20:80, МПа

Содержание воды в связующем, %	Смесь не выдерживали до приготовления образцов				Смесь выдерживали 1,5 ч	
	Время выдержки после продувки, ч					
	1 мин	1 ч	24 ч	24 ч при влажности 100 %	1 мин	24 ч
21	1,24	2,6	1,7	0,34	1,0	1,55
0	1,28	1,86	2,0	0,5	1,34	2,0

В качестве катализаторов для отверждения полиуретановых связующих композиций используют третичные амины. Они действуют как чистый катализатор в реакции: полиизоцианатные составляющие → промежуточный комплекс → составляющие с несколькими атомами водорода → полностью отвержденный полиуретан. При этом амин снова покидает партнера по реакции и готов к новому процессу отверждения.

Триметиламин (ТМА) сокращает время продувки газом в среднем на 78 %, а время очистки смеси воздухом – на 54 %. В целом экономия на времени продувки и очистки увеличивает производительность на 30 %. Сокращение выбросов при использовании ТМА обеспечивает более продолжительный срок службы нейтрализаторов и снижает издержки на утилизацию. Кроме того, повышается влагоустойчивость стержней при длительном хранении. Использование бутылей со сжатым газом вместо емкостей с жидким амином имеет то преимущество, что неиспользуемый остаток, который является причиной дополнительных издержек и проблем, связанных с защитой среды, остается в герметичных бутылках многократного использования. Поэтому нет необходимости его утилизировать. Свойства третичных аминов приведены в табл. 57.

От расхода амина при продувке зависит влагоустойчивость смеси, т.е. вероятность снижения прочности при хранении образцов или готовых стержней при повышенной относительной влажности окружающего воздуха. В данном случае нормативным показателем влагоустойчивости является прочность через 24 ч хранения образца при относительной влажности 100 %. Этот показатель последнее время обязательно приводят в па-

57. Физико-химические свойства третичных аминов

Свойство	Триэтил-амин (ТЭА)	Диметил- изопропил- амин (ДМИА)	Диметил- этиламин (ДМЭА)	Триме- тил- амин (ТМА)
Химическая формула	$(C_2H_5)_3N$	$(CH_3)_3CHN-(CH_3)_2$	$C_2H_5N-(CH_3)_2$	$(CH_3)_3N$
Молярная масса, г/моль	101,2	87,1	73,1	59,1
Температура кипения, °С	89	65	35	3
Предельно допусти- мая концентрация (ПДК), ppm	10	Нет дан- ных	25	5
Температура вспыш- ки, °С	-11	-27	-45	-65
Температура воспла- менения, °С	215	190	190	190
Давление, атм	0,07	0,17	0,58	2,2
Плотность, г/см ³	0,73	0,72	0,66	0,63
Порог запаха, мг/м ³	0,008	0,04	0,004	Нет дан- ных

Примечание. В западных нормах и изданиях ПДК приводят в виде объемного соотношения газов – ppm – part per million (частей на миллион, т.е. одна часть на 10⁶ об. частей воздуха).

тентах и рекламных материалах. Экспериментальные результаты, характеризующие эффект влияния амина, приведены на рис. 15.

В последние годы принципиальным и наиболее эффективным изменением состава связующей композиции стала замена применяемых ранее высококипящих неполярных ароматических углеводородов растворите-

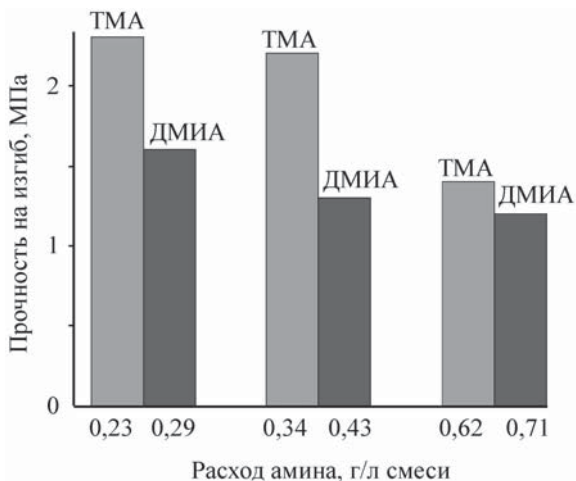


Рис. 15. Зависимость прочности на изгиб смеси от расхода ТМА и ДМИА при продувке

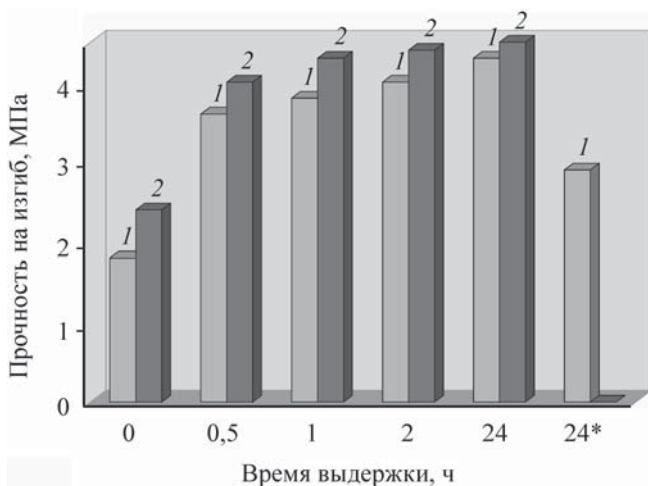


Рис. 16. Прочность смесей для процесса Cold-box-amine с использованием углеводородных растворителей Isocure (1) и метилового эфира рапсового масла Escocure (2):

24* – прочность после выдержки отвержденного образца в течение 24 ч при влажности 98 %

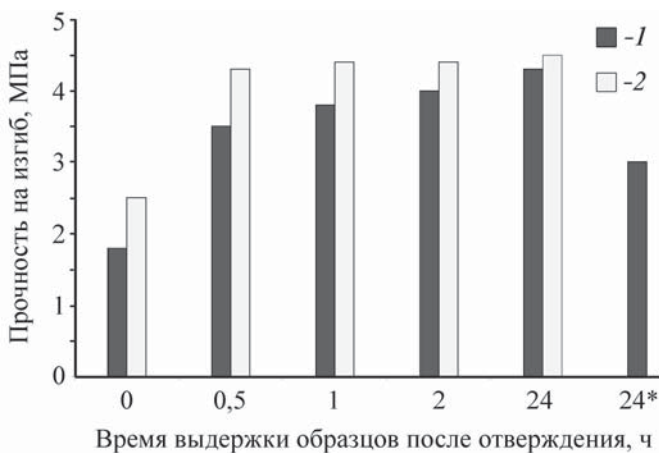


Рис. 17. Прочность смесей для процесса Cold-box-amine при замене углеводородных растворителей (1) на метиловый эфир (2) фирмы Ashland: 24* – выдержка 24 ч при относительной влажности 98 %

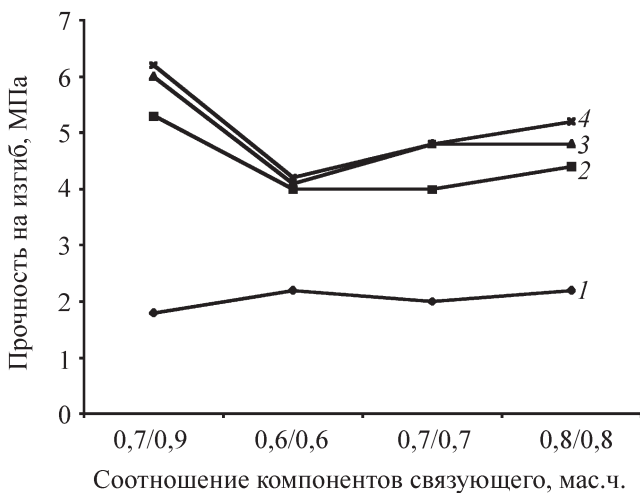


Рис. 18. Прочность смесей с метиловым эфиром фирмы Ashland после продувки триэтиламином: время после отверждения: 1 – сразу после продувки; 2 – 1 ч; 3 – 4 ч; 4 – 24 ч при влажности 100 %

лями растительного происхождения. Это метиловый эфир природных масел, например рапсового, и им подобные соединения. Такие продукты не имеют запаха, соответствуют требованиям отверждения полиуретановой композиции по скорости и достигаемой прочности (рис. 16–18). Прежде всего это привело к улучшению экологических показателей.

Неполярные ароматические растворители содержат много летучих. При заливке компоненты связующего подвергаются пиролизу, образуя новые устойчивые соединения. В присутствии ароматических углеводородов при пиролизе выделяются бензол, толуол и ксилол (ВТХ – bensol, toluol, ksilol), которые обладают высокой термической стабильностью. Новые растворители – метиловые эфиры растительных масел – являются высококипящими, низковязкими, без запаха, нетоксичными. Они взрывобезопасны, просты для транспортировки и хранения. Объем летучих газов при новой композиции на 50 % ниже обычной системы. На 50 % стала меньше эмиссия ВТХ при пиролизе. Прочность смесей при высоких температурах увеличивается за счет полимеризации растворителя, повышается точность размеров отливок.

Новые растворители позволили достичь и некоторых технико-экономических преимуществ.

По сравнению со связующими для Hot-box-процесса и Croning-процесса связующее для Cold-box-amine-процесса значительно больше размягчается во время заливки расплава в форму. Причина в том, что при термической нагрузке стержня или формы ароматический растворитель мигрирует с поверхности внутрь, и там образуется зона конденсации, в которой размягчаются полиуретановые связи. Вследствие этого появляются эрозия, просечки, разрушения формы и изменение размеров отливки.

У нового связующего температура приемлема для полимеризации метилового эфира, который стабилизирует уретановые связи и увеличивает прочность в области высоких температур. В результате повышаются термостойкость стержней и форм, размерная точность отливок, уменьшается склонность к просечкам, эрозии, ужиминам. Также снижается брак стержней из-за более легкого их извлечения из оснастки, уменьшаются поломки, расход разделительного покрытия, затраты на очистку из-за меньшего налипания связующего на оснастку.

Поскольку при использовании новых растворителей газовое давление растет медленнее, то уменьшается количество газовых раковин в отливках. При использовании старых растворителей газовый удар возника-

ет относительно рано, а новых – позже и слабее. Кроме того, после удаления остаточного амина стержни и формы не пахнут растворителями.

Эта новая серия связующих нашла большее применение при кокильном литье, дала новое поколение аминовых связующих, особенно для литья легких сплавов.

Улучшение выбивки достигается за счет снижения содержания смолы на 10...20 % при неизменной прочности. Снижена потребность в катализаторе на 10...20 %. Это дает улучшение состава воздуха в рабочей среде, снижение затрат, в том числе на очистку воздуха. При правильном подборе разделительного покрытия увеличивается интервал между опрыскиваниями.

Хорошие результаты дают минеральные добавки: снижается вероятность образования просечек при незначительном повышении газовыделения или отсутствии его изменений. Поверхность может быть чистой без применения покраски.

3.1.2. Технологические особенности процесса Cold-box-amine

Процесс представляет собой сочетание пескострельного или иного уплотнения смеси в стержневом ящике, отверждения продувкой нагретой до 100...130 °С смесью воздуха с парами амина и очистки стержня от остаточного амина продувкой сжатым воздухом. Продолжительность и давление обоих процессов регулируется газогенератором.

Вместо воздуха на первой стадии лучше использовать нейтральный, не содержащий влаги газ-носитель – азот, углекислый газ. В большинстве случаев процесс используют в массовом производстве, известны также примеры его применения в мелкосерийном и даже единичном производстве. Первая стадия составляет 5 с или менее для стержней массой 0,2...1,5 кг. Общее время упрочнения составляет 25 % или менее от полного цикла (от надува до надува). Например, если небольшой стержень имеет полный цикл 27 с, то 13 с уходит на работу машины, 4 с – на упрочнение и 10...12 с – на очистку.

Если отверждение слишком длительное, уменьшить его можно за счет повышения расхода амина и его давления (давление на входе в ящик может составлять до 2 атм) или переделать входную и выходную системы вентиляции ящика.

Воздух, участвующий в процессе, должен иметь точку росы при температуре –20...–40 °С.

Рост температуры песка на каждые 100 °С увеличивает в 2 раза скорость реакции. Аминовый катализатор, который почти полностью прохо-

дит через стержень, удаляется системой отсоса непосредственно из стержневого ящика или из закрытого кабинета, в котором находится стержневая машина. Далее он поступает в кислотный нейтрализатор, где амин, реагируя с серной кислотой, превращается в соль. После этого водный раствор соли сливают в систему промышленных стоков. Стоки не подвергают дополнительной нейтрализации. Однако по экологическим требованиям к стокам отработанный раствор в нейтрализаторе перед сливом подлежит обработке щелочью, например содой, для доведения его реакции до нейтральной ($\text{pH} = 7$).

С уменьшением диаметра зерен увеличивается поверхность песка. В связи с этим повышается расход связующего, увеличивается продолжительность отверждения.

Для нейтрализации амина в принципе существует четыре способа: нейтрализация путем химического взаимодействия с омывающей средой (самый распространенный), биологическая нейтрализация, дожигание, адсорбция активным углем.

Для amino-воздушных смесей применяют также окисление амина озоном и перманганатом калия. В промышленных масштабах преимущественно применяют кислотные нейтрализаторы, работа которых хорошо изучена, автоматизирована и весьма эффективна по степени очистки.

Определенные требования предъявляют к пескам. Желательно, чтобы размер зерен составлял 0,2...0,3 мм, а их форма была округлой. Тогда расход связующего будет минимальным. При угловатых зернах для одинаковой прочности требуется больший расход связующего, смесь имеет меньшую текучесть и хуже уплотняется, увеличивается расход катализатора.

Повышенное содержание мелких фракций и глинистой составляющей требует более высокого расхода связующего и повышает осыпаемость формы. Оптимальная температура песка 20...25 °С, на практике в зависимости от времени года 5...40 °С. Если температура выше 25 °С, то сокращается живучесть смеси, прочность снижается из-за потери растворителя.

Если температура ниже 10 °С, ухудшаются условия перемешивания, увеличивается живучесть, повышается расход катализатора, удлиняется цикл упрочнения.

Эмпирически установлено, что с повышением температуры на 10 °С удваивается скорость реакции и сокращается время достижения оптимальной прочности.

Содержание влажности в песке не должно превышать 0,1 %. При более высоких значениях вода спонтанно реагирует с полиизоцианатом, в результате чего ухудшается текучесть, затрудняется уплотнение, снижается прочность смеси, ухудшается стабильность свойств стержней при хранении.

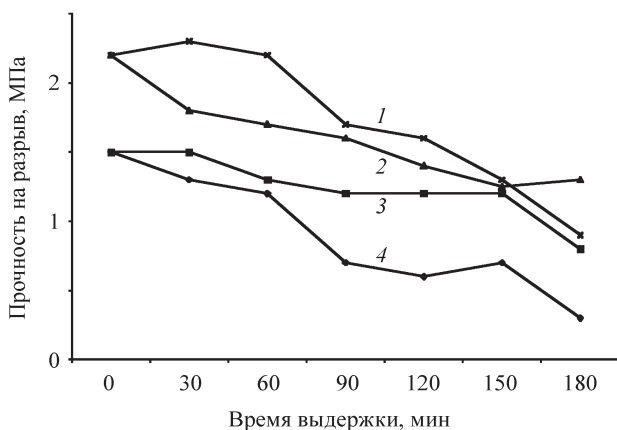


Рис. 19. Зависимость прочности смеси от добавок в песок:
 1 — без добавок; 2 — 1,2 % FeO; 3 — 1 % огнеупорной глины;
 4 — 1,2 % кварцевой муки

Влияние влаги в песке и влагоустойчивость при хранении стержней принципиально различны. Если полиуретан уже образовался в благоприятных условиях, то влагоустойчивость, особенно при современных композициях, достаточна.

Для приготовления смесей успешно применяют циркон, хромит, дистен-силлиманит, муллит. Их часто применяют самостоятельно или в комбинации с кварцевым песком при больших термических нагрузках. Например, для изготовления стержней водяных рубашек для двигателей используют 50 % кварцевого песка и 50 % хромита, для корпусов гидравлического оборудования 50 % муллита и 50 % циркона.

Примеси в песке: глина, бентонит, известь, цемент, оксиды железа, алюминия и других металлов, остатки смесей с жидким стеклом — нежелательны. Они снижают живучесть смеси; чтобы сохранить прочность, нужно увеличить содержание связующего (рис. 19).

Время приготовления смеси в смесителе не должно превышать 2,5... 3 мин. Превышение времени ведет к испарению растворителей, уменьшению живучести смеси и снижению прочности, увеличению чувствительности к влаге. Если время мало, то получается неоднородная смесь, стержни не сохраняют свойства при хранении, повышается склонность смеси к эрозии и газовым раковинам.

В табл. 58 приведен перечень проблем, которые возникают при изготовлении стержней с продувкой амином, их причины и способы устранения.

58. Проблемы при изготовлении стержней с продувкой амином

Проблема	Возможная причина	Способ устранения
Нет отверждения смеси по всему объему или в поверхностном слое	Нарушено содержание или соотношение компонентов 1 и 2 связующего	Установить нужную дозировку связующего
Мягкие пятна на поверхности затвердевшего стержня	Амин не попадает в смесь	Проверить и наладить генератор, подающий цилиндр или систему управления операцией продувки
Резиноподобный или пластичный стержень после извлечения	Нарушено соотношение компонентов 1 и 2 Холодный песок Слишком кислый песок	Проверить дозировку Повысить температуру песка Проверить pH или КП песка
Шероховатая поверхность стержня	Слишком высокое давление очистки или слишком раннее применение очистки Слишком большое сжатие уплотнения по разъему Избыточная вибрация или встряска между надувом и отверждением Избыточное количество разделительного покрытия или очистителя	Снизить давление очистки или изменить время ее начала Уменьшить жесткость уплотнения Устранить избыточное механическое влияние Снизить количество очистителя

Продолжение табл. 58

Проблема	Возможная причина	Способ устранения
Плохое заполнение ящика, пористые участки	Превышена живучесть смеси, понижена текучесть	Ускорить использование смеси
	Надувные сопла частично забиты	Очистить сопла
	Слишком низкое давление надува, недостаточная площадь вдувных сопел и вент	Увеличить давление надува и размеры сопел и вент
Низкая поверхностная прочность (резиноподобные или пластичные участки стержня)	Недостаточная подача амина в эти участки стержня	Проверить утечку амина в коллекторе или стержневом ящике
		Проверить утечку во входных вентах
		Проверить засоры в выходных вентах, прочистить
		Проверить утечки по разьему при надуве и зафиксировать половинки ящика
		Проверить газогенератор на достаточность испарения амина
Проверить выпускной коллектор, давление газа и засоры в шлангах		

Продолжение табл. 58

Проблема	Возможная причина	Способ устранения
Низкие общая и поверхностная прочность	Завышена живучесть смеси	Ускорить применение смеси
	Высокая влажность песка	Проверить влажность в воздушной линии и системе подачи песка
	Примеси в песке	Проверить КП песка
	Плохое перемешивание из-за загрязненного или изношенного смесителя, пониженной температуры	Очистить/восстановить смеситель и лопасти
	Слишком много песка или высокий уровень мелких фракций	Привести в порядок подачу песка и его зерновой состав
	Мало связующего или нарушено соотношение компонентов 1 и 2	Наладить дозировку связующего
	Утечка катализатора по разьему	Увеличить уплотнение
Сложности при извлечении стержня из ящика	Грязный стержневой ящик	Очистить ящик
	Слишком высокое давление воздуха на всех операциях	Снизить давление
	Неадекватная очистка	Увеличить время очистки и/или очищать горячим воздухом
	Повышенное содержание связующего	Снизить уровень связующего
	Разделительное покрытие не сочетается с материалом стержневого ящика	Подобрать правильное покрытие

Продолжение табл. 58

Проблема	Возможная причина	Способ устранения
Сложности при извлечении стержня из ящика	Влага на поверхности ящика Протяжная плита или толкатели заедают или имеют задиры Пониженное давление при продувке и очистке	Протереть ящик насухо Смазать или подогнать толкатели Повысить давление
Налипание связующего на оснастку	Разделительное покрытие не сочетается с материалом стержневого ящика Неадекватная площадь вдувных сопел – в результате требуется повышенное давление для заполнения ящика	Подобрать покрытие, совместимое с материалом стержневого ящика Модернизировать ящик
Пустоты в стержне со стороны сопел или мест надува	Засорены надувные сопла Недостаточно смеси в резервуаре Слишком низкое давление надува Слишком высокое давление продувки Слишком высокое давление или раннее применение отверждения и очистки	Прочистить сопла и резервуар от затвердевшей смеси Заполнить резервуар Повысить давление надува Снизить давление Снизить давление, начинать продувку позже

Окончание табл. 58

Проблема	Возможная причина	Способ устранения
Разупрочнение стержней при хранении	Слабое уплотнение	Проверить давление надува, расположение и площадь сопел и вент
	Высокая влажность воздуха или песка	Снизить влажность
Местные углубления в стержнях	Слишком высокое давление надува, повышенное давление продувки и очистки	Снизить давление
	Неправильное размещение надувных сопел и отверстий для продувки и очистки	Изменить размещение сопел и отверстий

Условное обозначение: КП – кислотная потребность.

3.1.3. Разработка фирмы Ashland – связующее "Изомакс"

Технология основана на механизме постепенно возрастающей ионной полимеризации соединений со свободными радикалами в присутствии аминового катализатора. Химическую основу компонента 2 нового связующего системы составляет эпоксидно-изоцианатный акрилат. Основное преимущество заключается в универсальности синтеза полимера и гибкости рецептуры в зависимости от специфических требований потребителя.

Технология "Изомакс" использует дополнительные механизмы полимеризации за счет образования цепочек со свободными радикалами и ионную полимеризацию. Это создает больший выбор реактивных молекулярных структур и различных высокопроизводительных технологических

ких вариантов. Полимеризация свободных радикалов ненасыщенных молекул акрилатов ускоряет процесс отверждения по сравнению с обычной фенольно-изоцианатной системой.

В некоторых системах срок жизни свободных радикалов составляет всего несколько секунд, а в процессе развития цепочки может образовываться до 10 000 ненасыщенных молекул в секунду. Отсюда ясно, что полимеризация свободных радикалов эффективна для быстрого образования высокомолекулярных структур, т.е. для быстрого отверждения смеси.

За счет возрастающей акрилатной полимеризации быстро идет под процесс отверждения. Для реализации процесса должны выполняться некоторые специфические условия. Например, низкая вязкость компонента 2 требует проведения следующих мероприятий: проверить состояние насосов и плотность соединений трубопроводов; уменьшить диаметр трубопровода подачи в смесителе; обеспечить свободную насосную подачу без нагревания.

Ионный механизм процесса полимеризации позволяет использовать эпоксидные компоненты, которые катализируются тем же третичным амином, что и для активации процесса образования свободных радикалов. Результирующая ионная эпоксидно-эпоксидная полимеризация образует длинную полиэфирную цепочку с эпоксидным разветвлением и перекрестными связями, а также вызывает реакцию с изоцианатом для образования уретановых фрагментов полимерной решетки.

Для производства смесей на данном связующем можно применять любые смесители: в непрерывный смеситель вводят компонент 1, через 30 с – компонент 2 и перемешивают 3 мин. Все агрегаты, открытые для воздуха (емкости, транспортеры, инжекторы), следует исключить. Живучесть смеси, если песок не подогрет, составляет не менее 15 ч. Давление уплотнения составляет 2,5...3 атм. При отверждении воздух следует заменить нейтральным газом, например CO_2 или азотом. Амин желательно подавать за несколько приемов небольшими порциями под давлением 3 атм. Свойства смеси приведены в табл. 59.

Смесь менее склонна к образованию просечек. Для ряда отливок не требуется применять соответствующие добавки – оксиды железа, крахмал, специальные наполнители взамен кварцевого песка.

**59. Прочность на разрыв смесей по обычному
Cold-box-amine-процессу и на связующем "Изомакс"**

Время выдержки образцов после продувки	Cold-box-amine-процесс	"Изомакс"
30 с	1,36	1,9
5 мин	1,72	2,8
1 ч	2,0	2,8
24 ч	2,3	2,77
24 ч при влажности 90 %	0,34	1,7
Выдержка смеси до продувки 1 ч		
30 с	1,2	1,9
24 ч	2,2	3,13
Выдержка смеси до продувки 3 ч		
30 с	1,04	1,88
24 ч	1,86	3,18
Выдержка смеси до продувки 8 ч		
30 с	0,8	1,64
24 ч	1,36	2,33

Примечание. Общее содержание связующего 1,2...1,3 мас.ч., соотношение компонентов 1 и 2 для Cold-box-amine-процесса 50:50; для "Изомакс" 20:80.

Данные о прочности для смесей двух типов при общем содержании связующего 1,25 мас.ч. см. на рис. 20. Благодаря повышенной текучести давление надува снижается на 25 % (срок службы оснастки соответственно увеличивается), стержни получаются более плотными и прочными. "Изомакс" позволяет снизить брак стержней и отливок, исключить армирование, упростить и ускорить процесс изготовления стержней, сократить расход песка благодаря повышенной живучести смеси, сократить деформации стержней при хранении и взаимодействии с металлом.

С другой стороны, смесь с "Изомакс" сильнее деформируется при нагреве, чем обычная фенольно-изоцианатная, следовательно, она более склонна к эрозии при литье стали. Как показали многие промышленные испытания, "Изомакс" обеспечивает экономию смолы и амина, повыше-

ние прочности и живучести смеси, лучшую влагостойкость, меньшее влияние неблагоприятных климатических условий.

Подчеркиваются три главных достоинства этого варианта. Во-первых, это более высокая прочность стержней.

Во-вторых, "Изомакс" обеспечивает более стабильные размеры, что следует из рассмотрения кривых горячей деформации. Стержни, изготовленные по технологии Cold-box-amine, расширяются первые 20 с, после чего примерно в течение 40 с значительно усаживаются. Смеси с "Изомакс" лишь незначительно расширяются при первоначальном нагреве и далее сохраняют стабильность размеров не менее 3 мин. Смесь ведет себя подобно смеси для Ctoning-процесса, длительно не деформируясь.

В-третьих, снижается количество или даже полностью исключаются газовые дефекты. Из-за пониженного содержания азота и растворителя в компоненте 2 наблюдается меньшая склонность к образованию пористости и блестящего углерода. Содержание в связующем летучих органических компонентов ниже на 40 %. Исключается пористость и в поверхностном слое некоторых отливок из алюминия, брак которых по обычной технологии Cold-box-amine достигал 50 %.

3.2. RESOL-CO₂-ПРОЦЕСС

При разработке связующего для этого процесса добивались его соответствия следующим требованиям:

- короткий суммарный цикл технологических операций;
- снижение трудоемкости доработки стержней;
- чистая поверхность отливок;
- возможность применения водных и спиртовых противопопригарных красок;
- возможность применения нагрева сверхвысокими частотами (СВЧ) для подсушки;
- приемлемая прочность для сложных фрагментов;
- отсутствие токсичных выделений;
- малые общие газовыделения;
- отсутствие потребности в дополнительных инвестициях;
- совместимость с другими типами смесей;
- возможность регенерации;
- экономичность.

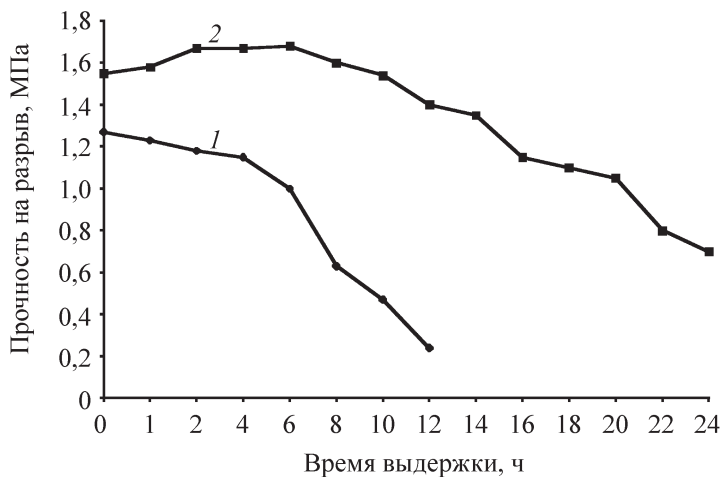


Рис. 20. Прочность смесей для Cold-box-amine-процесса (1) и смесей на связующем «Изомакс» (2)

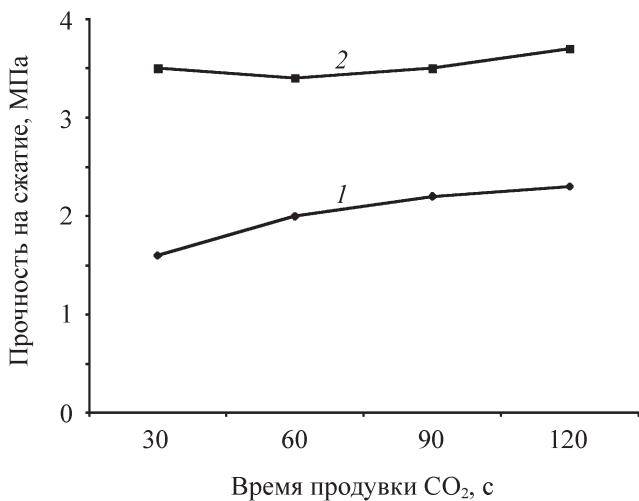


Рис. 21. Зависимость прочности смеси, приготовляемой по процессу Resol-CO₂, от длительности продувки углекислым газом: 1 – сразу после продувки; 2 – через 24 ч после продувки

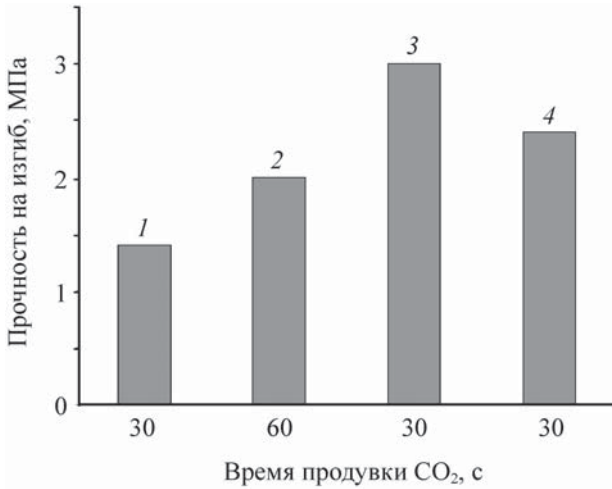


Рис. 22. Прочность смесей, приготавливаемых по процессу Resol-CO₂:
 1 и 2 – сразу после продувки углекислым газом; 3 и 4 – после хранения в течение 24 ч при влажности соответственно 55 и 95 %

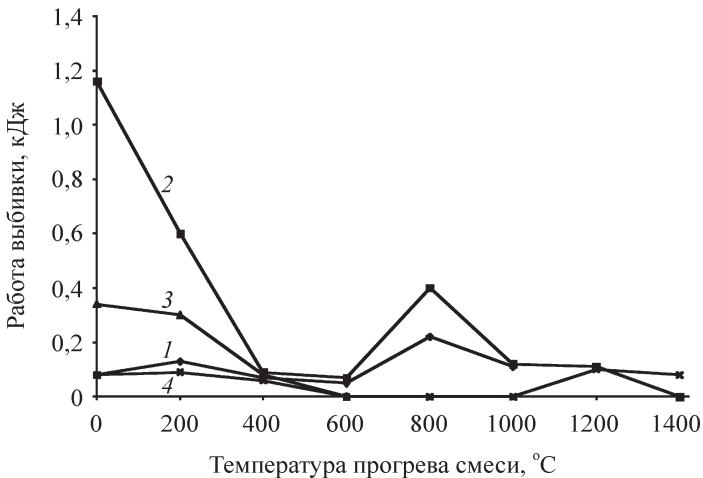


Рис. 23. Работа выбивки продуктых, а также высушенных без продувки смесей с жидким стеклом:
 1 – смесь продукта CO₂; 2 – высушена без продувки; 3 – смесь с добавкой глины высушена без продувки; 4 – смесь с добавкой глины продукта CO₂

Связующее представляет собой щелочную конденсированную фенолоформальдегидную смолу, отверждаемую углекислым газом. По кинетическим параметрам оно предназначено для серийного и единичного производства.

Отверждение идет по следующей схеме: водный раствор модифицированной смолы продувают CO_2 , в результате чего получают отвержденную смолу, гидроксид калия и карбонат калия.

Модифицированная смола содержит "инициатор" – буру ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Она обеспечивает стабильную щелочность смолы. При высоком значении pH, которое обеспечивается наличием в связующем гидроксида калия и буры, инициатор неактивен. При продувке смеси углекислым газом pH переходит в кислую область; в этот период проходит первый этап – формирование начальной прочности. Это – достаточное условие для извлечения стержня из оснастки. Дальнейший рост прочности происходит при хранении стержней на воздухе. При этом CO_2 в стержне и воздухе реагирует с остатком связующего.

Смесь содержит 2...3 мас.ч. связующего, расход CO_2 при продувке 10 л на 1 кг смеси; относительное давление 0,2...0,6 атм; температура газа 20...40 °С, типичное время продувки 20 с, песок должен иметь pH = 6,5...7,5. Смолу нельзя смешивать с кислотами или кислыми солями, это приводит к "отравлению" и интенсивному тепловыделению. Данные о свойствах смесей с жидким стеклом приведены на рис. 21–23.

Значительный рост прочности смеси происходит при подсушке в конвективном сушиле или с помощью СВЧ. При этом прочность возрастает в 1,5–2 раза, также увеличивается и поверхностная прочность.

Продувку ведут с невысокой скоростью: газ должен реагировать со связующим, а не высушивать его. Скорость продувки составляет 200...400 л/мин, потребность в CO_2 – 40...60 % от массы связующего при содержании последнего в смеси 2...3 %.

Данное связующее обладает следующими преимуществами:

– не содержит азота, серы, фосфора, содержание свободного фенола и формальдегида не превышает 0,1...0,2 %;

– в отливках отсутствуют такие дефекты, как блестящий углерод, ситовидная пористость, просечки, трещины;

– незначительны холодная и горячая эмиссии;

– улучшаются условия труда, на холодной стадии смесь не пахнет;

– можно применять как водные, так и спиртовые краски;

– водные краски следует сушить в циркуляционном сушиле или с применением СВЧ;

– уменьшаются расходы на обрубку и выбивку;

– в смесях нет взрывоопасных и воспламеняющихся материалов.

В табл. 60 приведены показатели одного из связующих этого типа.

Для приготовления стержневой или формовочной смеси рекомендуют применять сухой кварцевый песок с массовой долей глинистой составляющей не более 0,5...1 %, массовой долей диоксида кремния не менее 97...98 %, коэффициентом однородности O_3 от 60 до 70, средним размером зерна 0,19...0,23 мм. При превышении глинистой составляющей, изменении группы песка по среднему размеру состав смеси подлежит корректировке. Снижение содержания диоксида кремния в песке ниже 98 % при изготовлении среднего и крупного стального литья нежелательно из-за опасности образования пригара.

Влажность песка перед подачей его в смеситель не должна превышать 0,1...0,2 %, температура песка должна быть не выше 20...25 °С. При более высокой температуре снижается живучесть смеси.

60. Показатели фенольно-формальдегидного связующего

Характеристика	Норма исполнения
Внешний вид	Однородная жидкость от светло-желтого до темно-коричневого цвета
Условная вязкость при $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ по вискозиметру ВЗ-246 (диаметр сопла 4 мм), с, не более	75
Плотность, кг/м ³	1200...1300
Массовая доля свободного фенола, %, не более	0,1
Массовая доля свободного формальдегида, %, не более	0,2
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее, через:	
1 мин	0,5
1 ч	0,7
24 ч	1,0

Все основные наполнители (кварц, циркон, хромит, шамот) для смесей приемлемы. Они должны быть отмыты, высушены и классифицированы. При замене наполнителя или перед использованием регенерата рекомендуют проводить лабораторные испытания. При испытании в моносистеме может быть до 20 % регенерата. В двойных системах также рекомендуют вводить до 20 % регенерата от Hot-box-процесса, 10 % от Cold-box, 10 % от Stoning-процесса. При замене наполнителя нужно иметь в виду следующие особенности:

- чем мельче песок, тем выше содержание смолы;
- чем сложнее стержень, тем выше содержание смолы;
- чем компактнее стержень, тем ниже содержание смолы;
- чем выше основность песка, тем больше потребность в углекислом газе;
- чем выше кислотность песка, тем меньше живучесть смеси.

Время перемешивания смеси составляет 1...2 мин. При более длительном перемешивании снижается живучесть смеси за счет поглощения углекислого газа из воздуха. Готовая смесь имеет живучесть несколько часов, но хранить ее желательно закрытой влажной тканью, пленкой или в закрытой емкости.

Возможна реализация процесса при пониженных температурах, однако это требует уточнения состава и режима продувки применительно к конкретным условиям.

В большинстве литейных цехов смесь хранят в открытых емкостях над стержневыми машинами. При этом смесь через некоторое время покрывается затвердевшей коркой. Ее образование зависит от температуры воздуха и содержания в нем углекислого газа. Существует три заметно влияющих на старение смеси обстоятельства:

- высокая летняя температура;
- мелкие ящики на слишком большой машине;
- заполнение ящика смесью с кусками корок.

Все это в зависимости от геометрии стержневой может привести к их повреждениям. Уплотнение проводят вручную, на вибростоле или пескострельной машине. Наиболее эффективно сочетание машинного уплотнения с продувкой углекислым газом непосредственно в машине. Для этого желательно предусмотреть соответствующую вентиляцию оснастки и устройство для подачи и дозирования углекислого газа. Текучесть смеси несколько хуже, чем, например, смеси Cold-box-amine-процесса, поэтому должны быть несколько увеличены площадь вент и давление надува.

Нужно иметь в виду, что газ проходит через смесь с относительно низкой скоростью. Оптимальное время продувки составляет 30...60 с. Отверстия для продувки необходимо располагать так, чтобы углекислый газ равномерно проходил через смесь. Равномерность и качество отверждения повышаются, если в нижней части стержневого ящика выполнены небольшие вентиляционные отверстия или установлены венты.

Для изготовления стержней используют деревянную, стальную или чугунную оснастку. При использовании алюминиевой оснастки необходимо применять разделительное покрытие, так как щелочное связующее реагирует с алюминием и смесь прилипает. Вероятность прилипания снижается при повышении исходной плотности связующего.

Рабочая поверхность стержневых ящиков или моделей должна быть гладкой, без шероховатостей и дефектов. Вертикальные стенки выполняют с уклонами для более легкого извлечения стержней. Оптимальным для данной технологии является изготовление стержневых ящиков (особенно алюминиевых) такой конструкции, в которой исключается протяжка стержня по вертикальным поверхностям.

Возможна, а в некоторых случаях необходима окраска стержней водной или самовысыхающей противопопригарной краской. Окраску желательно проводить не менее чем через 30 мин после извлечения стержня или модели. Предпочтительно применение самовысыхающих красок, так как водная краска может привести к разупрочнению поверхностного слоя стержня. При окраске водной краской ее следует подсушивать при температуре 120...150 °С в течение 20...40 мин.

3.3. MF-ПРОЦЕСС (БЕТА-СЕТ-ПРОЦЕСС)

Связующим является щелочная резольная фенолоформальдегидная смола, аналогичная описанному выше связующему для процесса Альфа-сет. Для отверждения продувкой используют газообразный метилформинат (метиловый эфир муравьиной кислоты) НСОО-СН_3 – прозрачную бесцветную или светло-желтую жидкость с температурой кипения 31,5 °С и температурой вспышки –19 °С.

В состав смеси входит 1...2 мас.ч. связующего на 100 мас.ч. кварцевого песка или 0,7...1 мас.ч. для смесей на основе циркона или хромита.

Потери при прокаливании (ППП) должны быть ниже 2 %. Более высокий показатель требует применения большего количества связующего, что понижает текучесть смеси и повышает вероятность образования дефектов в отливках.

Содержание связующего в указанных пределах зависит от типа песка: формы зерен, содержания мелких фракций и глинистой составляющей, требуемой прочности. Не требуются такие добавки, как оксид железа, глина.

Приемлемо любое качественное уплотнение смеси – ручное, пескострельное, пескодувное, вибрационное. Условия и длительность перемешивания не должны приводить к существенной потере влаги. Потеря влаги снижает текучесть. Живучесть смеси высокая, для ее повышения нужно избегать потери влаги или излишков загрязняющих примесей.

В табл. 61 приведены показатели типичного связующего Бета-сет-процесса.

61. Показатели связующего

Показатель	Норма исполнения
Внешний вид:	
компонента <i>A</i>	Однородная жидкость от светло-желтого до темно-коричневого цвета
компонента <i>B</i>	Однородная жидкость светло-желтого цвета
Условная вязкость при $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ по вискозиметру ВЗ-246 (диаметр сопла 4 мм), с, не более:	
компонента <i>A</i>	75
Плотность, кг/м^3 :	
компонента <i>A</i>	120...1300
компонента <i>B</i>	960...980
Массовая доля свободного фенола в компоненте <i>A</i> , %, не более	0,1
Массовая доля свободного формальдегида в компоненте <i>A</i> , %, не более	0,2
Предел прочности при растяжении образцов, МПа*, не менее, через:	
30 с	0,5
1 ч	1,0
3 ч	1,2
24 ч	1,2

* Смесь содержала 1,7 мас.ч. связующего на 100 мас.ч. песка марки 02; время продувки 5 с, расход метилформата на один образец-восьмерку 1 г.

Близкие показатели (см. табл. 61) имеют связующие того же назначения у других производителей. Ниже приведены средние показатели связующих для Бета-сет-процесса, производимых ведущими европейскими фирмами.

Условная вязкость при $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$, сП, не более	130...150
Плотность при $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$, г/см ³	1,24...1,25
Содержание, %:	
воды	1,5...2,0
свободного фенола, не более	1,5...2,0
свободного формальдегида, не более	0,1...0,2
рН	12,5...13,0
Предел прочности при разрыве через 0,5...1 ч после продувки, МПа	0,7...1,0

Оптимальные прочностные свойства смесей получаются при использовании кварцевого песка марок 1К₁О₃ 02 или 016 влажностью не более 0,5...1 %.

Общая и поверхностная прочности смесей несколько увеличиваются в процессе заливки из-за склонности композиции к дополнительному отверждению при небольшом нагреве.

Оптимальная температура песка 18...30 °С.

Время продувки стержня составляет 20...30 с, специальных средств для нейтрализации метилформиата не требуется. ПДК этого газа равен 250 мг/м³, 4-й класс опасности. Теоретически расход метилформиата при продувке составляет 20 % от массы связующего. Фактически он бывает выше, так как зависит от конфигурации стержня, вентиляции ящика, качества уплотнения по разьему. Реальный расход метилформиата 20...40 % от массы связующего.

Генератор должен быть изготовлен специально для данного процесса, чтобы стабильно подавать смесь метилформиата с воздухом или азотом в соотношении 1:1. Для мелких стержней или форм или более медленного отверждения допустимо содержание метилформиата в смеси менее 50 %.

Метилформиат является не катализатором, а реактивным компонентом механизма отверждения. Превышение его теоретического расхода не влияет на скорость и конечный уровень упрочнения. Скорость заметно зависит от распределения метилформиата в объеме стержня или формы. Она зависит также от соответствия количества газа размеру стержня и его конфигурации. Должно быть минимум 20 % метилформиата от массы связующего, в противном случае возможно недоотверждение.

После продувки смеси метилформиатом под давлением 2...3 атм ее очищают сжатым воздухом под давлением 3...4 атм в течение 10...15 с для удаления из системы горючей газовой смеси и, в особенности для крупных стержней, дополнительного распределения отвердителя в объеме стержня.

Основные рекомендации по конструированию оснастки для процессов с продувкой отвердителя или катализатора приведены в гл. 4. Метилформиат заливают в расходную емкость газогенератора, в котором он испаряется и подается в стержневой ящик.

Вязкость связующего при хранении увеличивается, что может вызвать трудности при перемешивании. Оптимальными являются следующие условия хранения:

Температура, °С	Срок годности
4...5	5 мес
20...25	3 мес
30...32	8...10 недель

В табл. 62 приведены технологические свойства смесей, полученных при продувке образцов 60%-ным метилформиатом.

62. Технологические свойства смесей для Бета-сет-процесса

Содержание связующего, мас.ч.	Прочность на разрыв, МПа, после выдержки в течение			Живучесть, ч	Газопроницаемость	Газотворная способность, см ³ /г
	30 с	1 ч	24 ч			
1,5	0,7... 0,8	0,8... 1,0	1,0... 1,2	8	Более 200	4...5
1,8	0,8... 1,0	1,0... 1,2	1,2... 1,4			7...8

Прочностные свойства смеси Бета-сет-процесса в отличие от других типов ХТС мало зависят от влажности песка и от содержания в нем окислов щелочных и щелочно-земельных металлов, от влажности воздуха при хранении стержней. Живучесть зависит от температуры и условий хранения. Для длительного сохранения свойств рекомендуют хранить смесь закрытой, т.е. в условиях, исключающих испарение из нее влаги.

Окраску стержней водными красками можно проводить пульверизатором, кистью, окунаем и поливом. Поскольку связующее является водорастворимым, окрашивать формы (стержни) следует не ранее чем через 2...3 ч после изготовления, а затем подсушивать газовыми горелками или в сушиле в течение 30...40 мин при температуре 130...150 °С.

При использовании самовысыхающих спиртовых покрытий окраску можно проводить сразу после затвердевания. Далее покрытие либо поджигают, либо выдерживают на воздухе 1...1,5 ч до полного высыхания. Толщина слоя покрытия в зависимости от прилегающей толщины стенки отливки должна составлять 0,5...1,5 мм.

3.4. EPOXY-SO₂-ПРОЦЕСС

Для этого процесса в России выпускают связующее, в частности ЭПАК-П. Оно представляет собой композицию, состоящую из двух компонентов, условно обозначаемых как компонент *A* – смесь эпоксидно-диановой смолы и полифункционального акрилата, и компонент *B* – смесь эпоксидно-диановой смолы с окислителем. Связующее отверждают газообразным сернистым ангидридом SO₂. Полученная по Ероху-SO₂-процессу смесь предназначена для производства отливок из чугуна, стали, алюминия. При высоких скоростях заливки чугуна или стали необходимо применять противопопригарные покрытия, защищающие смесь от эрозии.

Компоненты связующего нужно хранить при температуре 15...32 °С, гарантийный срок хранения 6 мес.

Содержание связующего в смеси обычно составляет 1,3...1,5 мас.ч. при соотношении компонентов от 50:50 до 60:40 в зависимости от вида сплава и требований по качеству отливок, выбиваемости и др. Если применяют сухие добавки к песку, например оксид железа, то следует увеличивать содержание связующего в следующей пропорции: на 1 % добавки 0,2 мас.ч. связующего. Если добавки содержат эти или другие активные соединения, может произойти разложение гидропероксида, что снизит

прочность на всех стадиях. Недопустимо загрязнение песка или смеси фенольными, фурановыми или другими связующими.

Для смесей данного типа возможно применение не только кварцевого песка, но и цирконового, оливинового, хромитового. Температура песка должна находиться в пределах 15...40 °С. При более высоких температурах готовая смесь должна храниться закрытой для предотвращения испарения летучих компонентов; при этом могут снизиться текучесть смеси и прочность стержней.

Потери при прокаливании регенерированного песка не должны превышать 2 %. В противном случае нужно увеличивать содержание связующего. Однако необходимо учитывать, что при этом снижается текучесть смеси, что может приводить к дефектам в стержнях, в частности к недостаточному уплотнению.

Физико-химические свойства связующего должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 63.

63. Показатели связующего

Характеристика	Норма исполнения
Внешний вид:	
компонента <i>A</i>	Однородная жидкость от светло-желтого до темно-коричневого цвета
компонента <i>B</i>	Однородная жидкость светло-желтого цвета
Плотность, кг/м ³ :	
компонента <i>A</i>	1100...1200
компонента <i>B</i>	1080...1180
Условная вязкость при температуре 20 °С по вискозиметру ВЗ-4, с, не более:	
компонента <i>A</i>	450
компонента <i>B</i>	150
Массовая доля окислителя (гидропероксида изопропилбензола) в компоненте <i>B</i> , %	30...40

Окончание табл. 63

Характеристика	Норма исполнения
Предел прочности на разрыв, МПа, не менее, после продувки сернистым ангидридом в течение:	
1 мин	0,6
1 ч	1,3
3 ч	1,5
24 ч	1,5
Текучесть смеси, %, не менее	70

Для толстостенных отливок из черных сплавов с помощью специальных добавок можно несколько повысить термостойкость связующего. Это могут быть акриловые или виниловые мономеры, фуриловый спирт, полифуриловый спирт, фенолоформальдегидные смолы горячего отверждения, уретановые смолы и их смеси. Акрилатами могут быть триметилпропантриакрилат и фурфуролметакрилат. Добавки могут вводить в эпоксидную смолу в количестве до 50 %. При этом желательно применение силанов или титанатов.

В табл. 64 приведены средние прочностные показатели смол. Общее содержание связующего составляет 1,3...1,4 мас.ч. при соотношении компонентов *A* и *B* 1:1, время продувки при давлении 1 атм – 2...3 с, время очистки при давлении воздуха 2 атм – 20 с.

64. Прочность смесей для Ероху-SO₂-процесса

Связующее	Прочность на разрыв, МПа, после выдержки				Параметры окружающей среды	
	1 мин	1 ч	3 ч	24 ч	Температура, °С	Влажность, %
ЭПАК-П	0,66	1,0	1,0	1,35	24,5	92
Isoset	0,57	1,0	1,15	1,25	23,5	96

Стержневые ящики могут быть выполнены из дерева, металла, пластмассы. Смесь легко выбивается при производстве алюминиевых отливок, что повышает производительность и снижает вероятность повреждения отливок при выбивке.

Живучесть смеси превышает 96 ч. Это снижает ее потери. Необходимость очистки оборудования и его технического обслуживания могут быть исключены из нормальной восьмичасовой рабочей смены.

Высокая текучесть смеси позволяет использовать пониженные давления при машинном уплотнении: достаточно давления надува 2...3,5 атм. Воздух в процессе должен быть сухим, иметь при атмосферном давлении точку росы в интервале 20...40 °С. Наличие в воздухе и песке влаги снижает прочность смеси.

3.5. CO₂-ПРОЦЕСС

Общие сведения по данному процессу приведены выше и в более ранних публикациях [3]. Специфическая особенность смесей с жидким стеклом – затрудненная выбиваемость. Прочность при нагреве этих смесей имеет два максимума: в зоне 200...300 и 600...800 °С. Снижение прочности смеси в этих температурных интервалах или хотя бы в одном из них может быть достигнуто введением неорганических добавок, содержащих Al₂O₃, и ряда органических материалов.

К первой группе относятся глина, шамот, Al₂O₃ в чистом виде и др. Во вторую группу, эффективную в зоне более низких температур, входят производные сахаров, глюкозы, крахмала, некоторые виды синтетических смол и др.

Зарубежные фирмы выпускают жидкое стекло для литейного производства некоторых коммерческих названий, как правило, с одной из добавок второй группы. Эти сорта связующего бывают более эффективны для стержней тонкостенных чугунных отливок.

Глава 4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ДЛЯ ХТС

В современном производстве используют определенный минимальный комплект оборудования для изготовления стержней и форм из ХТС. Независимо от характера производства он включает в себя смеситель непрерывного действия, вибростол для распределения и уплотнения смеси, приспособление для кантовки и протяжки, устройство для окраски (в случае применения водных красок), проходное или тупиковое сушило, выбивную решетку.

При значительных объемах применения ХТС и наличии однородного потока отработанных песчано-смоляных смесей (по возможности без участия в том же технологическом процессе песчано-глинистых смесей – ПГС) принято использовать регенерационную систему (подробнее см. в гл. 5).

На ряде производств используют комплексно механизированные участки, однако чаще создают поточные механизированные и автоматизированные линии, где механизированы все транспортные и многие технологические линии.

На подобных линиях производят отливки массой от нескольких килограммов до нескольких тонн мелкими или крупными сериями.

Одним из мировых лидеров по созданию формовочных линий на базе ХТС является итальянская компания IMF.

Ниже изложены критерии, составленные специалистами этой фирмы, по выбору оптимальной технологии. Следует подчеркнуть, что общепризнанными конкурентами ХТС при литье в разовые формы являются сырая песчано-бентонитовая смесь (иначе – ПГС) и формы, изготовленные вакуумно-пленочной формовкой (ВПФ).

4.1. КРИТЕРИИ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ

Производительность. Формы должны производиться на автоматической линии производительностью не менее 6...10 форм/ч при значительных габаритных размерах отливок опочным или безопочными способами. Опочному производству может удовлетворять любая из известных

технологий: ПГС, ХТС и ВПФ. Для безопчного варианта приемлема только ХТС, которая обеспечивает достаточно высокую прочность полуформ через 15...20 мин после засыпки и виброуплотнения смеси.

Качество отливок

Российский опыт изготовления стальных вагонных отливок показывает, что ПГС по наличию дефектов, потерям от брака, товарному виду не полностью удовлетворяют современным требованиям. ХТС может обеспечить высокое качество отливок. Это не только экспертная оценка, но и многолетний опыт ведущих европейских и азиатских фирм, где для изготовления средних и крупных форм применяют главным образом ХТС, преимущественно на базе разных вариантов фурановых смол.

Санитарно-гигиенические показатели, условия труда, защита окружающей среды

Требуются наличие и доступность на отечественном и мировом рынках необходимого оборудования, основных и вспомогательных материалов, технологической документации, а также экономические показатели (себестоимость, использование площадей и др.).

4.2. ПАРАМЕТРЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОРМ ИЗ ХТС

Основные свойства песчано-смоляной смеси, которые определяют темп отдельных технологических операций, – **живучесть и кинетика отверждения**.

Если смесь засыпают, уплотняют, проводят дополнительные технологические операции в пределах живучести (обычно 5...10 мин) и после последующего отверждения прочность не снижается более чем на 30 % по сравнению с прочностью свежеприготовленной смеси, можно считать такую смесь приемлемой для работы линии.

Кинетика отверждения характеризуется двумя величинами. Первая – время упрочнения до уровня, при котором рекомендуют извлекать модель. Для формовочной линии оно может составлять 15...20 мин. Прочность на первой стадии может достигать 0,1...0,15 МПа, на второй стадии прочность через 1...1,5 ч 0,3...0,5 МПа, 4 ч 0,5...0,7 МПа, 24 ч 1,3...1,7 МПа. Выбраны те промежутки времени, когда могут идти транспортные операции, сборка, заливка форм металлом, охлаждение и выбивка.

Выбиваемость

Залитая форма в момент выбивки состоит из нескольких слоев с разным прогревом. Часть формы, прогретая до температур не выше 400...600 °С, представляет набор кусков смеси разной величины, остальная часть после полной термодеструкции связующего представляет собой смесь зерен и мелких агрегатов смеси. Соотношение между этими зонами зависит от массы, материала и толщины стенок отливки, типа и содержания связующего, температуры выбивки. Например, для деталей вагонной тележки это соотношение составляет от 1:1 до 1:2.

Качество отливок

При изготовлении стальных отливок возможны такие дефекты, как засоры, просечки, пригар или глубокая металлизация, газовые раковины (включая ситовидную пористость), горячие трещины. Смесь с фурановой смолой с содержанием фурилового спирта более 80 % и катализатором – водно-спиртовым раствором паратолуолсульфокислоты – не склонна к образованию упомянутых дефектов со стороны формы. Однако отсутствие или низкий уровень дефектности могут быть обеспечены при выборе оптимальных материалов, применении специальных противопопригарных покрытий, строгом соблюдении технологических инструкций, технологичной конструкции и правильной литейной технологии. Наиболее часто в практике сталелитейных цехов встречаются пригар, просечки, трещины. Однако в современном производстве разработаны надежные технологические правила и приемы, позволяющие устранить эти дефекты.

Характеристики технологического оборудования

Производительность смесителя непрерывного действия рассчитывают так, чтобы засыпка смеси в опоку или жакет занимала 1...1,5 мин без потери живучести. Вибрацию комплекта (модельной плиты с моделью, опоки и смеси) осуществляют одновременно с засыпкой смеси или после окончания засыпки с подачей при необходимости дополнительно количества смеси. Время до протяжки модели определяют предварительно опытным путем с тем, чтобы при движении модели в форме до полной вытяжки не было повреждений элементов формы и прилипания смеси к модели. Должны быть обеспечены оптимальная скорость про-

тяжки и строго вертикальное направление. Для облегчения протяжки, устранения прилипания и поломок применяют разовое или полупостоянное разделительное покрытие.

После протяжки формы окрашивают противопригарной краской методом полива под низким давлением. Если выбрана спиртовая краска, ее подсушивают на воздухе до сборки (40...50 мин) или поджигают сразу после нанесения. Если предусмотрена водная краска, она должна пройти кратковременную подсушку (20...30 мин при 130...170 °С). Режим подсушки может корректироваться в зависимости от конструкции сушила и условий конвекции в нем.

Составы смесей

В качестве основного связующего следует подобрать фурановую смолу с содержанием фурилового спирта не менее 80 %. Такое связующее можно применять в составе смеси в количестве 0,7...0,8 мас.ч. при содержании катализатора – раствора ПТСК – 0,5...0,8 мас.ч. Окончательный выбор содержания смолы и катализатора проводят при освоении технологии, получении оптимальных параметров по прочности и высокого качества отливок. Изменение содержания катализатора на уровне $\pm 20...30\%$ бывает необходимо при значительном изменении температуры воздуха и песка ниже 10...15 °С или выше 25...30 °С.

Другие виды ХТС

В последние годы для производства стального литья в некоторых случаях применяют Альфа-сет-процесс. Преимущества этой технологии: отсутствие значительных вредных газовыделений на холодной стадии, достаточная термостойкость; недостатки: большой расход связующего, относительно медленный набор прочности, затрудненная регенерация, сложное оперативное регулирование живучести и скорости отверждения. По технологическим параметрам этот процесс более приемлем для мелкосерийного и единичного производства отливок из легированных сталей, например марганцовистой стали. Для массового и крупносерийного производства более приемлем и фактически применяется в мировом литейном производстве процесс на базе фурановых смол.

Модельную оснастку изготавливают из металла, дерева, пластмассы; возможна безопочная формовка.

Преимущества технологии изготовления форм из ХТС

Высокая прочность и термостойкость формы обеспечивают приемлемое качество литья. Параметры технологического процесса регулируются в широких пределах в зависимости от условий производства и характеристик оборудования. Отсутствует необходимость создания и эксплуатации сложного и дорогостоящего смесеприготовительного отделения, системы контроля и стабилизации технологических свойств ПГС. Применение ХТС одновременно для форм и стержней создает условия для объединения отработанных смесей в единый поток их механической регенерации. Возможен полный возврат регенерата в составы формовочных и стержневых смесей.

ХТС готовят в простых смесителях непрерывного действия.

Среди других преимуществ:

- относительно низкие затраты на электроэнергию и сжатый воздух;
- малая энергоемкость процесса уплотнения;
- отсутствие шума, связанного с работой формовочного оборудования;
- низкие трудозатраты на выбивку форм и финишные операции;
- простота смесеприготовления, технологического процесса в целом;
- возможность применения неквалифицированного труда;
- надежная работа несложного оборудования.

Недостатки

Высокая стоимость, по сравнению с ПГС, исходных материалов (смола и катализаторов), противопопригарных покрытий; необходимость детального расчета расхода смесей, регенерации и т.д.

Значительный объем токсичных газовойделений, необходимость эффективной местной и общеобменной вентиляции на участках заливки и охлаждения, выбивки форм, проведение соответствующего анализа ситуации и организация специальных мероприятий по очистке воздуха.

Необходимость депонирования отходов, содержащих вредные вещества, остатков связующих, некоторых остаточных продуктов их термодеструкции, отходов регенерационной системы.

В России необходимые фурановые смолы и противопопригарные покрытия централизованно не производят. Названия зарубежных производителей литейных материалов и марки этих материалов приведены в табл. 65.

65. Зарубежные поставщики материалов для ХТС

Фирма (страна)	Материал
Huttenes-Albertus (Германия)	Смола ХА-20 Смола TDE 20 Катализатор 500T1 Катализатор 100T5 Покрытие Loxia 4031 Краска Arcopal 3721 Краска Zircofluid 3139 спиртовая Краска Argofix 3344 водная Клей Kleber 5664
Ashland (США)	Смолы Supaset 62, 63 Катализатор T55
Fosoco (Великобритания)	Противопрigarные покрытия на основе цир- кона и алюмосиликатов Semcosil 310Z и 312
Furtenbach (Австрия)	Смола Furanharze
Bakelite (Германия)	Смола Furanharze Катализатор PTSS
Shengquanv (КНР)	Смола SQG-100 Смола FL-105 Катализатор SQ-03 Водная краска FS-500A Спиртовая краска FQH 500
SP Mineral (Финляндия)	Противопрigarные покрытия на водной и спиртовой основе

Все названные в табл. 65 фирмы производят весь комплекс материалов для ХТС: связующие, катализаторы, клеи, покрытия.

Цены европейских, американских и других производителей обычно превышают отечественные не более чем на 15...20 %.

Важнейшим элементом системы производства ХТС является смеситель непрерывного действия. Производительность имеющихся на рынке смесителей составляет 2...70 т/ч. Смесители могут быть одновальными, двухвальными (двухкорпусными: с корпусом транспорта и смешивающим), трехвальными, оборудованными отдельными смешивающими шнеками для смолы и отвердителя и шнека готовой смеси.

Для стабилизации технологического процесса, особенно при частых сменах температуры воздуха и исходных материалов, смесители снабжают функцией подогрева песка с помощью нескольких управляемых нагревательных батарей. При этом скорость реакции в смеси в период упрочнения поддерживается постоянной, что повышает качество смеси и позволяет экономить связующее.

Емкости для смолы и катализатора обычно имеют систему подогрева и термостатирования на заданном уровне независимо от внешней температуры. В смеситель включена система подачи двух катализаторов – быстрого и медленного; выбор осуществляется в зависимости от температуры песка. Это дает экономию катализатора и стабилизирует время отверждения.

Фирма Wohr (Германия) предлагает свои схему и оборудование для изготовления форм, которые особенно приемлемы для крупных несложных отливок. Фирма выпускает полуавтоматические и автоматические комплексы. Они поставляются в различных конструктивных исполнениях и комплектации в зависимости от размеров опок, производительности, степени автоматизации. Некоторые модули оборудования могут встраиваться в действующие линии. В комплексы входят вибростолы, рольганги, кантователи для протяжки и окраски, манипуляторы, захваты для кантовки, охладительные ветви, передаточные тележки, выбивные решетки.

Для окраски фирма использует различные системы в зависимости от производительности и требований. При одной простой и эффективной системе окраски опоку фиксируют на транспортной секции, обливают и опрокидывают на 110°. Краска вытекает и образуется равномерная пленка окраски. Для повышения гибкости окрасочного модуля применяют различные ванны и типы краски.

Для уплотнения на позиции заполнения служит вибростол. После того как полуформа достаточно отверждена, используют различные методы для извлечения модели.

Кроме ручной протяжки модели с помощью подъемного механизма эффективно действует устройство для штифтового съема. При этом опoka отрывается от модели подъемными штифтами, установленными в подмодельной плите. Система протяжки идеальна для крупных опок при небольшой производительности. Для более высокой производительности предлагают оптимальное решение для протяжки и поворота моделей в автоматическом режиме.

В дополнение к линии в комплекте поставляют смеситель непрерывного действия и установку по возврату отработанной смеси. После выбивки смесь направляют на регенерацию. Решетку с помощью специального привода встряхивают, смесь отделяется от отливки, которая далее следует на очистку.

Фирма обращает внимание на некоторые преимущества предлагаемых решений: высокую степень автоматизации, что повышает производительность и качество, чистоту и гладкость поверхности отливок, высокую прочность форм, быстроту и точность протяжки моделей, точность отливок, стойкость моделей, ограниченный износ узлов и деталей, простоту обслуживания и ухода.

Часто предметом дискуссий специалистов является сравнение двух видов смесей – ХТС и ПГС – для выбора технологии формовки при серийном и мелкосерийном производстве. С точки зрения расхода свежего песка важно, что при ХТС после регенерации возвращается 80...95 % песка, к которому добавляют 5...20 % свежего. В этом плане ПГС и ХТС относительно равноценны, и можно анализировать эти варианты по другим показателям.

При использовании фурановой смолы, если масса стержней не превышает 10 % от массы формы, их можно изготавливать из 100 % свежего песка, а формы – из 100 % регенерата. Чаще 10 % свежего песка смешивают с 90 % регенерата, и эту смесь применяют для изготовления форм и стержней.

При рассмотрении указанной задачи нужно учитывать следующие особенности:

ПГС требуют больших трудозатрат для изготовления форм, сборки, выбивки опочных форм;

ХТС при безопасной формовке требуют около половины персонала, задействованного при ПГС;

при использовании ХТС персонал может быть менее квалифицированным;

ХТС требуют меньше места, производят меньше пыли и шума, чем ПГС;

капитальные затраты при ХТС примерно в 2 раза меньше;

точность при производстве на ХТС выше;

эрозия формы из ХТС при заливке меньше, брак по засорам меньше.

Экономические расчеты фирмы IMF показывают, что при высокой производительности ХТС экономичнее, чем ПГС.

4.3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ЯЩИКОВ ПРИ ОТВЕРЖДЕНИИ СТЕРЖНЕЙ ПРОДУВКОЙ ГАЗООБРАЗНЫМИ РЕАГЕНТАМИ

4.3.1. Общие положения

Правила проектирования оснастки для изготовления стержней в ходовых ящиках с отверждением газообразными катализаторами и отвердителями – амином, метилформиатом, сернистым ангидридом, углекислым газом – составлены по информационным материалам фирм–разработчиков материалов и технологий, опыту зарубежных литейных цехов (США, Германия), отечественных предприятий, внедривших указанные процессы.

Достижение высоких показателей при их использовании во многом зависит от проектирования конструкции оснастки и вспомогательных систем.

Создание оптимальной трассы для прохождения катализатора через массив стержня и его удаления из стержневого ящика требует определенных знаний в области проектирования оснастки и ее вентилирования. Особое внимание следует уделить проектированию подводящих и отводящих магистралей, пескострельных резервуаров, впускных и выпускных вент, вдувных сопел.

Ниже изложены основные принципы и рекомендации по проектированию оснастки, разработанные на основе результатов проведенных лабораторных и производственных экспериментов, а также изучения данных, опубликованных в литературе.

4.3.2. Конструкционные материалы

Правильно выбранный материал для оснастки оказывает существенное влияние как на ее стоимость, так и на производительность оборудования.

Подводящий трубопровод и коллектор (продувочная плита). Подводящий трубопровод, который обеспечивает подачу газовой смеси (катализатор–воздух или катализатор–инертный газ–воздух) от установки, где она готовится, к подводящему коллектору, представляет собой комбинацию жестких и эластичных трубопроводов. Жесткие секции – это конструкции из обычных "черных" труб. Гибкие секции делают из материалов, стойких к воздействию на них катализатора или отвердителя, например тефлона или нейлона. Желательна проверка любых выбираемых для трубопроводов материалов путем погружения их в жидкий компонент.

Для подачи обычного сжатого воздуха или природного газа широко используют различные резиновые рукава (следует отметить, что при погружении, например, такого рукава на несколько дней в жидкий амин неизбежно его заметное разбухание). Какой бы эластичный материал для трубопроводов не применяли, он должен гарантированно выдерживать давление в подающей линии.

Подводящие (впускные) коллекторы изготовляют литыми, сборными или сварными из обычных марок сталей, чугуна, алюминия. Чаще всего их делают из стали или из чугуна. В отдельных случаях, когда производство невелико, допустимо изготавливать их из плотной фанеры. Силам, которые возникают в магистрали, деревянные коллекторы должны противостоять длительное время без заметного коробления или деформирования.

Уплотнители стержневого ящика. Между стержневым ящиком и коллекторами (впускным, выпускным), а также по разъему ящика в обязательном порядке должны быть установлены упругие уплотнители, исключающие возможность проникновения газовой смеси из оснастки в рабочую зону оператора. Для выбора материала уплотнителей его тестируют погружением в жидкие компоненты, используемые в данном техпроцессе (например, компоненты *A*, *B* и *K*). Если материал уплотнителя не изменяет своих свойств и качеств (не разбухает, не теряет формы, эластичности, упругости и др.), то его можно использовать для изготовления уплотнителей.

Упругость сжимаемого уплотнителя является важнейшим параметром для стержневого ящика, особенно по плоскости горизонтального разъема. Упругость уплотнителя должна быть такой, чтобы он не мог оторвать верхнюю половину ящика от нижней в тот момент, когда сила прижима уменьшается после надува стержня. Если произойдет подъем верхней половины ящика, то неизбежен выброс смеси по разъему. Причиной отрыва верхней половины ящика может стать слишком малая ее масса, недостаточная для сжатия уплотнителя. По этой причине желательно, чтобы материал уплотнителя имел губчатую структуру с характеристиками сжатия 0,3...0,4 кг на 1 см длины. Если же выбраны уплотнители с низкими характеристиками сжатия, то следует стержневые ящики оборудовать специальными зажимными приспособлениями для предотвращения их раскрытия после надува смеси.

Очень широко в качестве уплотнителей применяют профилированный резиновый уплотнительный шнур.

Отводящие трубопровод и коллектор. Требования к отводящим трубопроводу и коллектору аналогичны требованиям, предъявляемым к подводящей системе, за исключением того, что здесь давление ниже. Большинство отводящих коллекторов изготавливают сварными из стали или литыми из чугуна. Коллекторы должны иметь достаточно жесткую конструкцию, чтобы хорошо противостоять сжимающим силам в процессе продувки и отверждения стержня, а также обеспечивать надежное удержание нижней части стержневого ящика.

Стержневые ящики. Для изготовления стержневых ящиков используют различные материалы: чугун, алюминий, древесину, эпоксидную или полиуретановую композицию холодного отверждения.

Ящики из древесины и алюминия используют реже всего из-за их низких износостойкости и долговечности. Ящики из пластмасс или армированные пластмассами предпочтительны, так как имеют низкую стоимость изготовления, легко ремонтируются и восстанавливаются. Основным недостатком этих ящиков является их чувствительность к растворителям, которые часто используют при их очистке. Например, стержневые ящики, изготовленные из полиуретана, настолько подвержены воздействию растворителей, что их лучше чистить пескоструйным способом.

Особое внимание следует уделять стойкости к растворителям изнашиваемых поверхностей стержневого ящика, расположенных в зонах соприкосновения с машиной или контакта с коллекторами. Хорошо про-

тивостоят разъеданию растворителями металлические материалы, а также пластмассы типа тефлона или нейлона. Следует помнить, что прежде чем применить новый материал, его надо предварительно экспериментально проверить. Проверку проводят наблюдением за материалом при длительном погружении его в рабочую среду.

Вдувные сопла обычно изготавливают из углеродистых сталей, тонкостенных тянутых или механически обработанных стальных труб в зависимости от конструкции используемого упругого уплотнительного наконечника. Рекомендуют также использовать нейлоновые или литые полиуретановые сопла.

Сопла из нейлона хорошо противостоят воздействию на них связующих, используемых при аминовом процессе. Поскольку на практике существует множество модификаций полиуретана, трубки, изготовленные из него, рекомендуют погружать для предварительных испытаний в связующее. Из полиуретана кроме трубок можно изготавливать также уплотнительные наконечники.

Венты. Предпочтительными являются прорезные или перфорированные венты. Наилучшими считаются венты из коррозионно-стойкой стали. Однако возможно применение латунных вент – прорезных, с плетеной проволокой ("путанкой"), из перфорированной ленты.

Чем больше открытая площадь (суммарная площадь для прохода газовоздушной смеси) для данного размера вент, тем выше скорость отверждения. Скорость и полнота отверждения зависят также от наличия небольшого положительного давления ("подпора") внутри полости стержневого ящика, которое обеспечивает более полное и равномерное прохождение катализатора во все участки стержня.

Наибольшую открытую площадь для данного наружного диаметра венты обеспечивают изготовленные из "путанки" (открытая площадь составляет около 40 %), тогда как перфорированный лист или прорезные венты обеспечивают соответственно 27 и 13 %. Перфорированные венты значительно проще чистить, нежели прорезные.

По сравнению с "путанкой" или перфорированной лентой, прорезные венты требуют больше времени на очистку и дополнительных расходов, так как их расходуются в 2–3 раза больше для обеспечения эквивалентной площади для прохода газовоздушной смеси. Возможна (хотя и редко встречается) конструкция так называемых самоочищающихся прорезных вент, имеющих обратный конус в прорезях.

4.3.3. Проектирование элементов оснастки

Пескодувный резервуар. Правильно выбранные размеры и оптимальная конфигурация пескодувного резервуара и насадки по отношению к пескодувной плите позволяют избежать создания так называемых мертвых зон, затрудняющих процесс выхода смеси.

Чаще всего пескодувный резервуар представляет собой цилиндр, прикрепленный к вершине пустой прямоугольной коробки (пескодувной насадке), к которой болтами крепится продувочная плита с вдувными соплами (отверстиями) различных размеров и формы. На рис. 24 в качестве примера приведена конструкция небольшого по высоте резервуара с насадкой и плитой для изготовления больших (плоскостных) стержней.

Для придания оптимальной формы внутренней полости пескодувной насадки используют металлические, пластмассовые или деревянные вставки (различные для различных плит). Их вставляют как внутрь резервуара, так и внутрь пескодувной насадки. Для того чтобы определить форму и размеры внутренних вставок, следует провести несколько пробных "выстрелов", используя насадку без вставок. По оставшейся в насадке затвердевшей смеси судят о форме и размерах вставок, которые

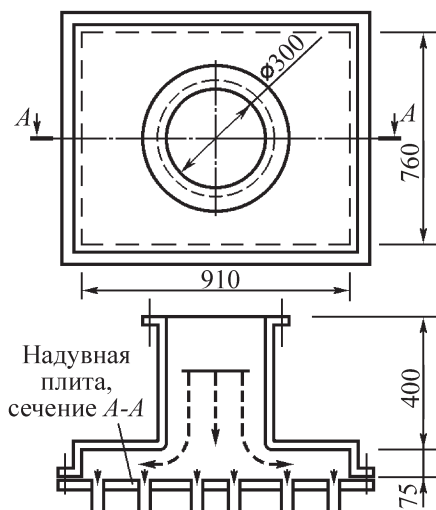


Рис. 24. Пескодувный резервуар

необходимо в дальнейшем использовать в процессе изготовления стержней.

Обычно массу смеси, которую загружают в бункер, определяют из условия изготовления 3...5 стержней. Если загрузка выше, то это может привести к значительному испарению растворителя из смеси, что скажется, в конечном счете, на ухудшении процесса истечения смеси из резервуара и качества уплотнения стержня. В случае, когда пескодувная машина оборудована высоким пескодувным резервуаром, смесь приходится выдувать иногда по 10–15 раз, чтобы заполнить полностью стержневой ящик, что, в свою очередь, может привести к потере смесью необходимых технологических свойств.

Подводящий трубопровод и коллектор (продувочная плита). От размеров и внутренней конфигурации системы подвода газозвушной смеси, от места ее приготовления до стержневого ящика во многом зависят скорость отверждения смеси и производительность машины.

Система подачи газового катализатора должна обеспечивать его поступление во все зоны стержня, для чего подвод газа по трубопроводу через коллектор должен быть разветвленным и, по возможности, коротким.

Это требует от конструкции минимального количества колен, тройников; предпочтение отдают соединениям типа "звезда" от места впрыскивания газозвушной смеси до ее контакта со смесью в стержневом ящике. Чрезмерно длинная подводящая магистраль между стержневым ящиком и газогенератором приводит к замедлению скорости отверждения в начале каждого цикла, так как приходится выдувать чистый ("продувочный") воздух, оставшийся в магистрали от предыдущего цикла.

Минимальные размеры трубы и рукава для подачи амина от установки или аккумулятора до коллектора зависят от массы песка, находящегося в стержневом ящике и подлежащего отверждению.

Особенно внимательно следует подходить к выбору размера подводящего трубопровода, чтобы не затруднять прохождение газа. Например, если 1,5-дюймовая линия подводки газа от газогенератора разделяется на две линии, для лучшего распределения газа внутри большого коллектора следует использовать соединительные элементы с размером не менее 1".

Для обеспечения прохождения достаточного для отверждения количества газа давление его во впускном коллекторе в течение первого этапа отверждения стержня должно быть около 1...1,5 атм и 2...3 атм на втором этапе отверждения. Для удобства наблюдения оператором за дав-

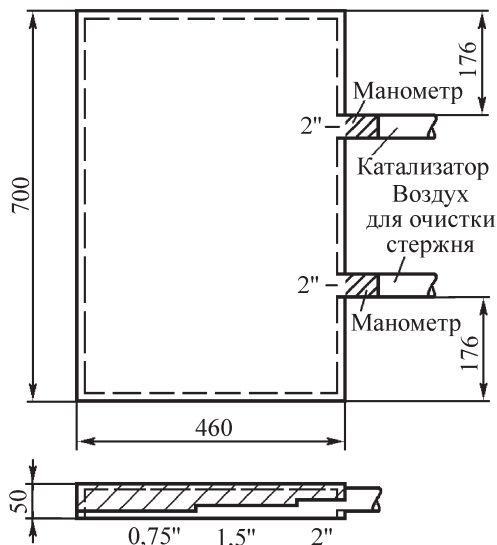


Рис. 25. Продувочная плита для крупного стержневого ящика

лением газа в системе рекомендуют установить прибор в трассу подводящего трубопровода с пределами измерения 0...5 атм. Оптимальным считается режим работы машины, когда общая длина трубы и рукавов до впускного коллектора составляет 2...5 м.

Впускной коллектор (продувочная плита) должен обеспечивать надежную подачу газа ко всем частям стержня. Например, рекомендуют выбирать высоту коллектора 15...20 мм, если его размер в плане 300×300 мм, и около 50 мм для коллекторов 750×750 мм. На рис. 25 показана схема подводящего трубопровода и коллектора для крупного стержневого ящика.

Потеря герметичности из-за ненадежного контакта между разъемными частями оснастки приводит к уменьшению скорости отверждения, увеличению расхода катализатора и не может быть компенсирована за счет увеличения давления газа при продувке. Это так называемые основные потери, для устранения которых необходимо нахождение источников потерь и выполнение соответствующих работ по их ликвидации. Незначительные утечки устраняют из рабочей зоны с помощью местной вытяжной вентиляции.

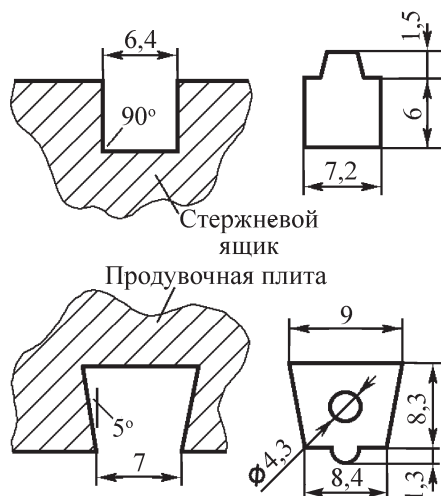


Рис. 26. Конструкция желобчатых уплотнений

В отдельных случаях, когда скорость отверждения незначительна, ящик и вставки выполнены из дерева, герметичность может быть обеспечена путем помещения стержневого ящика в специально оборудованный "саркофаг", снабженный отсасывающим трубопроводом.

Уплотнители стержневых ящиков. На высокопроизводительном оборудовании уплотнение обеспечивают за счет гибких уплотнителей, устанавливаемых по разъемам.

Существует несколько хорошо разработанных конструкций желобчатых уплотнителей стержневой оснастки. Обычно уплотнитель продувочной плиты располагают в теле самой плиты, особенно когда есть одна плита для нескольких стержневых ящиков. Когда ящик имеет горизонтальный разъем, проточку под уплотнитель обычно делают в нижней половине стержневого ящика. Это облегчает укладку и осмотр уплотнителей. Отпадает необходимость приклеивать уплотнитель, если желоба изготовлены с высокой точностью. На рис. 26 показаны два типичных случая конструкции желобчатых уплотнителей. Каналы типа ласточкин хвост под уплотнители рекомендуют выполнять в верхней половине стержневого ящика (или в продувочной плите), а квадратного – в нижней (или нижнем коллекторе).

Отводящий трубопровод и коллектор. Для того чтобы процесс протекал в оптимальном режиме, следует обеспечить постоянный контроль за перепадом давления в магистрали: рекомендуют установить в ней измерительный прибор со шкалой от $-0,6$ до $+0,6$ атм в зоне видимости оператора. Отклонения давления в процессе продувки катализатором или чистым воздухом должны быть в пределах $\pm(0,05\dots0,07)$ атм.

На практике чаще всего отводящий трубопровод представляет собой коллектор, оборудованный уплотнителями, надежно прикрепленный болтами к нижней (или отводящей) половине стержневого ящика и изолирующий механизм выталкивания стержня из ящика. Подобное решение упрощает уплотнение и защищает систему толкателей.

Поскольку поток катализатора при продувке должен быть непрерывным, а зона отвода в процессе продувки работает практически при атмосферном давлении, отводящий трубопровод от коллектора должен иметь как минимум двукратную пропускную способность по отношению к подводящему трубопроводу.

Например, если подводящая система использует однодюймовую трубу, то систему отвода изготавливают из пары двух- или трехдюймовых труб. И так должно быть по всей трассе отвода при условии минимального использования колен и других изгибов трассы.

Большинство конструкций отводящих трубопроводов обладают специальной большой емкостью для сбора (улавливания) частиц песка. Вертикальная труба длиной 600...700 мм и диаметром 200 мм, установленная под прямым углом к линии отвода, будет уменьшать скорость истечения до величины, достаточной для "осаждения" песчинок, и препятствовать их попаданию в скруббер. Иногда циклон такого типа входит в комплектацию стержневой машины.

Проектирование стержневых ящиков. Подводящая и отводящая газовые системы должны обеспечивать сбалансированную работу при продувке смеси амином и чистым воздухом. Наилучшим способом для достижения сбалансированности является расположение вдувных сопел и вент таким образом, чтобы продувка газом в процессе отверждения и продувка воздухом при очистке (удалении остатков амина) осуществлялись бы через те же самые участки и в том же направлении.

Для стержневых ящиков с верхним заполнением и горизонтальной плоскостью разъема не может быть иного решения, поскольку машины, на которых изготавливают стержни, легко приспособить к продувке сверху вниз.

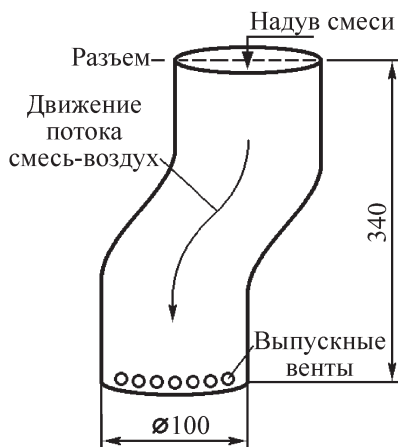


Рис. 27. Стержень колена массой 2,5 кг (надув и отверждение с торца; время продувки 4,2 с)

Стержневые ящики с вертикальным разъемом и верхним надувом имеют большой выбор машин, на которых надув может осуществляться как сверху вниз, так и сбоку. Ящики с боковым надувом и горизонтальным разъемом обладают такими же возможностями.

Высокой степени вентилируемости, необходимой для быстрого отверждения, может препятствовать плотность продуваемого стержня, если продувка осуществляется под углом к потоку газа в массе стержня. Желательно, чтобы эти два направления совпадали (рис. 27).

Стержневые ящики с горизонтальным разъемом. В верхней половине стержневого ящика должны быть установлены вдвунные сопла или выполнены вдвунные отверстия, чтобы обеспечить получение однородной плотности стержня при минимально необходимой внутренней скорости течения смеси в ящике. Диаметр вдвунных сопел или отверстий, их общая пропускная площадь и расположение должны обеспечивать возможность получения однородной и достаточно высокой плотности стержня, что необходимо как для нормального процесса отверждения, так и для предотвращения пригара и засоров.

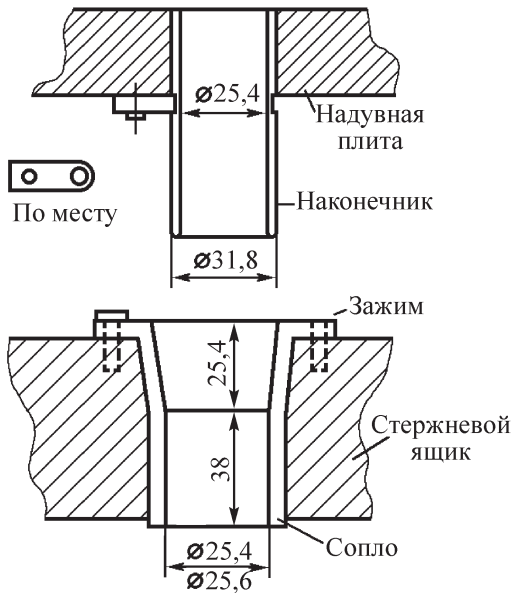


Рис. 28. Двухстенное надувное сопло

После того как размещены вдувные отверстия, определяют, где должны быть расположены впускные и выпускные венты. Отверстия под вдувные сопла и толкатели обычно используют для подвода и отвода газа в сочетании с дополнительными вентами, расположенными там, где это необходимо.

Общая (открытая) площадь системы вентиляции должна быть в 2–4 раза больше, чем площадь для надува стержня.

Существует правило, что общая площадь впуска (вдувные отверстия плюс верхние венты) может достигать 130 % от площади вдувных сопел; площадь выпуска меньше, чем площадь надува, и составляет около 70 % от общей площади впуска. Такой дисбаланс обеспечивает противодействие, необходимое для эффективного отверждения (рис. 28 и 29).

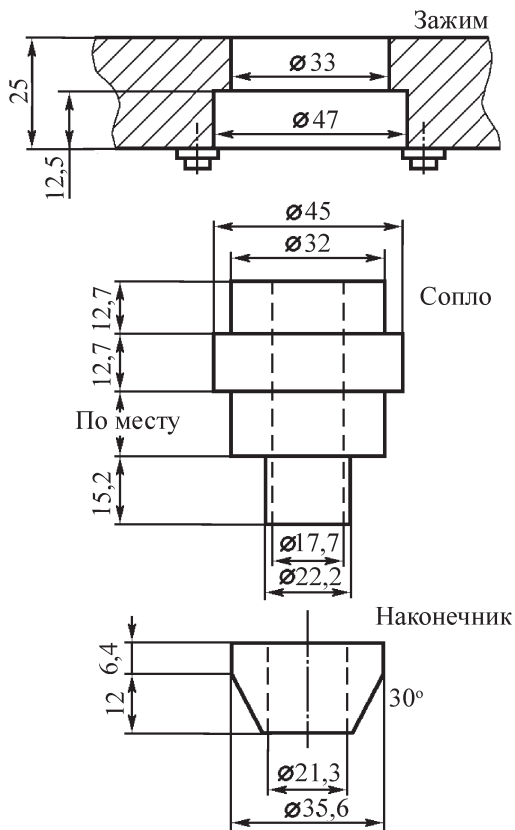


Рис. 29. Толстостенное надувное сопло

Конструкция вдувных сопел. В настоящее время наибольшее распространение получили два типа стальных вдувных сопел: толстостенные и тонкостенные. Тяжелая толстостенная втулка дороже, имеет ступенчатую поверхность и упругий наконечник, который работает как сжимающееся уплотнение в процессе надува (см. рис. 29). Тонкостенные сопла дешевле, но легко деформируются и часто выходят из строя в процессе эксплуатации.

Два фактора определяют наибольшую распространенность толстостенных вдувных сопел: их оптимальные размеры, которые соответствуют размерам стандартных водопроводных труб, и наличие фаски 30° , что обеспечивает лучшие условия уплотнения. Реже применяют третий тип втулок – тонкостенные втулки с гибким резиновым наконечником, который обеспечивает уплотнение в процессе надува или продувки стержня. Эта конструкция пропускает смесь назад в процессе надува, когда она повреждена. Она также быстрее изнашивается и приходит в негодность.

Толстостенные сопла могут стать причиной повреждения оснастки из-за шероховатой наружной поверхности.

Внутренняя поверхность сопла должна быть гладкой и ровной без сужений и наростов между втулкой и эластичным наконечником. Здесь нет нужды в таких антиадгезионных материалах, как тефлон, однако напыление никеля толщиной $0,5 \dots 0,7$ мм может существенно продлить срок службы сопла. В случае изготовления вертикально протяженных стержней круглого сечения диаметром менее 25 мм возможно отклонение от принципа прямолинейности внутренней поверхности сопла. В этом случае используются сопла, которые имеют внутренний диаметр со стороны плиты $20 \dots 25$ мм, а в конце – сужение под углом 45° в зоне контакта с уплотнителем (см. рис. 28).

Это особенно эффективно, когда используют сопла длиной более 50 мм (рис. 30), так как длинные сопла малого диаметра имеют тенденцию забиваться смесью после $10 \dots 15$ надувов.

В настоящее время все большее распространение получают сопла из нейлона и полиуретана. Чаще всего их делают прямыми с нарезанной внешней резьбой, с помощью которой сопло вворачивают в надувную плиту и фиксируют снизу под ней винтом или болтом. Некоторые литые полиуретановые конструкции имеют фланцы для крепления, тогда как

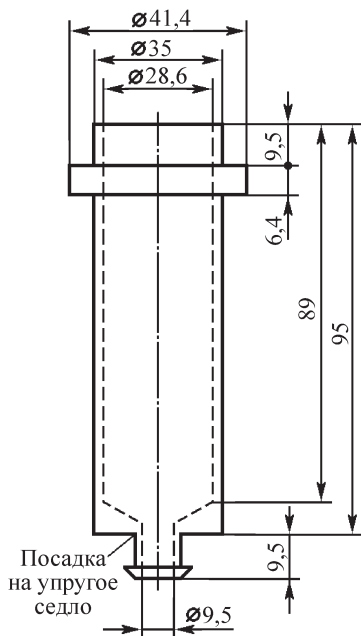


Рис. 30. Длинное надувное сопло

другие имеют сужение внутреннего диаметра, что позволяет одну модель адаптировать к размерам от 10 до 25 мм. Все это также способствует уплотнению в процессе надува.

Диаметры вдувных сопел. Внутренний диаметр вдувных сопел желательно выбирать как можно большим, начиная от 30 мм. Чем больше диаметр, тем меньше эффект выноса смеси и меньше тенденция к случайному затвердеванию смеси во втулке.

Большие диаметры сопла с большой площадью вдува позволяют применять низкое давление надува (2,5...3,0 атм). Использование низкого давления обеспечивает спокойный процесс заполнения ящика смесью при низкой скорости ее истечения.

Конфигурация стержня в отдельных случаях может накладывать определенные ограничения на размеры используемых вдувных сопел. В таких случаях желательно иметь сопла с минимальным внутренним диаметром 15 мм и менее для выбора оптимального места их расположения.

Суммарная площадь вдувных сопел. На основании анализа имеющегося отечественного и зарубежного опыта можно сформулировать рекомендации по выбору суммарной площади вдувных сопел, необходимой для конкретной конфигурации стержня в зависимости от его массы. Такие рекомендации учитывают требуемую плотность стержней и возможность их изготавливать в течение 8 ч без очистки оснастки и остатка машины.

Площадь вдувных сопел изменяется от 3 до 5 см² на 1 кг смеси в зависимости от геометрии стержня. Простые компактные стержни требуют небольшой площади вдува, в то время как протяженные (развитые по площади) – значительно большей.

Расположение вдувных сопел. Наилучшим местом для установки вдувных сопел являются зоны, где находятся массивные части стержня. Эта рекомендация особенно важна при использовании холодного процесса, потому что свободно текущая смесь имеет тенденцию к налипанию свободного связующего на внутренние поверхности стержневого ящика в местах, где смесь изменяет направление своего движения. Чем дальше от вдувного отверстия изменяется направление движения смеси, тем меньше связующего налипает на поверхность стержневого ящика, расположенную напротив вдувного отверстия.

Не рекомендуют располагать вдувные отверстия непосредственно над близко расположенной горизонтальной поверхностью в стержневом ящике. Это приводит к увеличению "отскакивания" песка от поверхности стержневого ящика, усилению износа оснастки и налипанию на рабочие поверхности связующего.

Продувка катализатором и очистка воздухом. Поскольку амин и воздух для очистки продувают с большими скоростями, необходим правильный выбор конструкции подводящих зон, диаметров и расположения вдувных отверстий и отводящих вент. Недостаточная площадь для подачи и отвода газов уменьшает скорость отверждения. Неудачное место расположения также приводит к уменьшению скорости и может явиться причиной перерасхода амина, когда он идет преимущественно через тонкие части стержня и должен в то же время обеспечивать отверждение его объемных частей.

Суммарная площадь сечения каналов подвода и отвода газа. С позиции продувки, если рассматривать только скорость отверждения, целесообразно обеспечивать достаточно большую площадь подвода. Лимитирующими являются затраты на сверление отверстий и возможное ослабление конструкции стержневого ящика. Слишком малая площадь подвода газа приводит к уменьшению скорости отверждения и засорению вдувных отверстий.

С позиций выдува (отвода) площадь вент, отводящих газы, не должна превышать суммарной площади вдува, обычно она составляет 70 % от площади вдува.

Конфигурация стержня оказывает влияние как на площадь вдувных отверстий, так и на площадь отводящих вент. Если конфигурация стержня позволяет увеличить площадь прохождения газа, то это приводит к увеличению скорости отверждения.

В случае изготовления стержней простой формы (кусковые, объемные) площадь вдувного отверстия в $3,5 \text{ см}^2$ на 1 кг смеси допускает использование проволочных вент. В табл. 66 приведены сведения по площадям открытых поверхностей вдува и выдува для различных конструкций сопел и вент.

Диаметры вент. На диаметр вент существенно влияет внутренняя конфигурация стержневого ящика. Тем не менее некоторые рекомендации общего порядка могут быть сделаны исходя из существующего опыта.

При изготовлении небольших по массе стержней (0,5 кг и менее) обычно используют венты диаметром до 12 мм. Там, где расположены массивные части стержня, применяют венты диаметром 15...50 мм, если позволяет внутренняя конфигурация стержня. Для простых по форме стержней (кусковых и др.) можно использовать стандартизованные венты одного типоразмера. Для ребристых и сложных по конфигурации стержней используют, как правило, венты диаметром до 20 мм.

66. Параметры подводящих и отводящих газ систем

Надувные сопла и трубы		Вентиляция через зазоры в толкателях		
Внутренний диаметр, мм	Площадь, мм ²	Диаметр, мм	Зазор, мм	Площадь, мм ²
50,8	2000	25	0,5	20
38,0	1140		0,25	10
31,0	790		0,12	5
25,4	500	20	0,5	15
22,2	380		0,25	7,5
19,0	280		0,12	3,7
15,8	200	12	0,5	10
14,2	160		0,25	5
12,3	130		0,12	2,5
9,5	70	6	0,5	5
7,9	50		0,25	2,5
6,4	30		0,12	1,25
Прорезные венты		Сетчатые венты	Газоподводящие сопла*	
Наружный диаметр, мм	Площадь, мм ²	Площадь, мм ²	Диаметр сопла, мм	Площадь, мм ²
25,4	7,8	64	25,4	64
19,2	116	38	19,2	47
15,8	77	26	15,8	38
12,5	51	19	12,5	32
9,5	26	10	9,5	23
8	19	6	6,3	16
6,3	13	4	–	–

* Зазор по диаметру 1,6 мм.

Примечание. Исходные данные: сетчатые венты – рабочее сечение 40 % от общей площади венты; штампованные из листа – рабочее сечение 20 % от общей площади; прорезные венты – рабочее сечение 13 % от общей площади.

Расположение вдувных вент. Оптимальным техническим решением считается расположение вдувных вент со стороны заполнения стержневого ящика смесью. Расположение мест подвода газа должно гарантировать его прохождение через весь массив стержня. Примером удачного расположения подводящей зоны для простого "кускового" стержня является расположение вдувных вент на расстоянии не более 5 см между их центрами.

В зоне контакта стержня с отливкой может быть использована комбинация пустого канала для подвода газа и расположения толкателя как

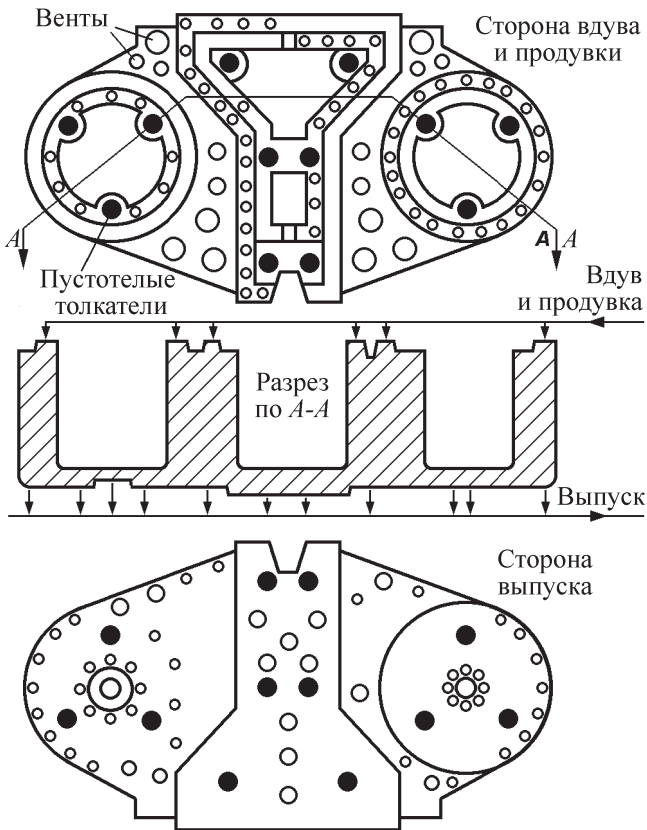


Рис. 31. Впускные венты в верхней половине ящика стержня коробки перемены передач

для продувки, так и для удаления остатков смеси через вдувное сопло. Диаметр толкателя должен быть по крайней мере на 3...3,5 мм меньше, чем отверстие в ящике, чтобы воздух свободно проходил через него.

Поскольку вдувные сопла используют как элементы системы вентилирования, дополнительное вентилирование, необходимое для доведения общей площади подвода до требуемого уровня, в основном должно охватывать выступающие части стержня.

Смесь воздуха с катализатором должна иметь легкий доступ практически ко всем участкам стержня. Обычно это требование предполагает, что газ должен проходить сплошным потоком через стержень в радиусе около 25 мм от точки его подвода. Это означает, что венты диаметром 15 мм, расположенные на расстоянии 50 мм между своими центрами, будут хорошо продувать весь массив стержня. Большие, чем 50 мм, расстояния не будут препятствовать процессу отверждения, однако явятся причиной увеличения времени отверждения и расхода газа.

При изготовлении несложных стержней часто используют простые по конструкции и одинаковые по размерам вдувные сопла и венты. На рис. 31 приведен пример расположения вдувных сопел, впускных и выпускных вент для стержня, отверждаемого за 10 с. В случае, когда стержень имеет различные по величине сечения, рекомендуют концентрировать большие зоны подачи напротив этих сечений в глубине ящика с последующим поступлением катализатора в более тонкие сечения. В случае стержневых ящиков с массивными частями как в верхней, так и в нижней половине требуется комбинация этих принципов для обеспечения оптимального расположения вент.

Примером подобной комбинации для надлежащего размещения вдувных вент является стержень корпуса коробки перемены передач с массивными и глубокими карманами (рис. 32), так как плоскость поверхности со стороны вдува сильно ограничена. Если прямо под поднутрениями есть сложные сечения, вдувные венты (или даже вдувные сопла) могут быть направлены к их середине, но тогда должно быть обеспечено отбегание их газовым потоком.

Расположение выпускных вент. После того как определено место расположения впускных вент, устанавливают выпускные венты таким образом, чтобы создать "баланс" газового потока, проходящего через стержень. Для решения этой задачи нужно обеспечить приблизительно равный путь катализатора от впускной до ближайшей выпускной венты, предотвращая таким образом обходной, менее желательный путь для катализатора.

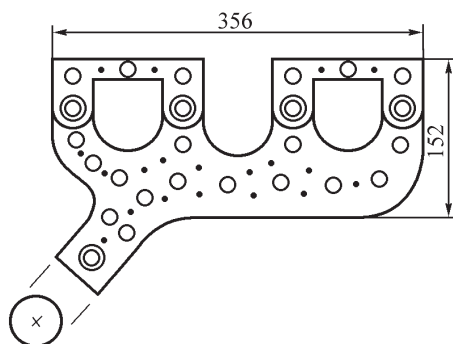


Рис. 32. Верхняя половина ящика стержня коробки передач:
 масса стержня 2,4 кг; время продувки 10 с; площадь одной впускной (выпускной) венты 0,5 см²; общая площадь выпускных вент составляет 80 % от площади впускных

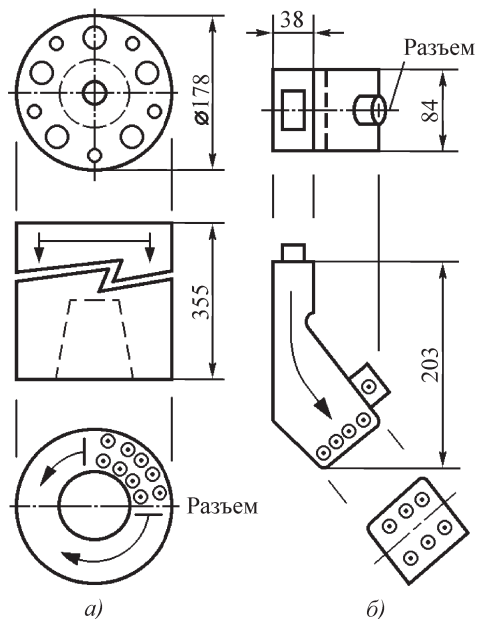


Рис. 33. Практически выверенные схемы расположения вент:
 а – масса стержня 11 кг; впускная площадь 36 см²; выпускная площадь 50 см²;
 б – масса стержня 2 кг; впускная площадь 9,7 см²; выпускная площадь 8,4 см²

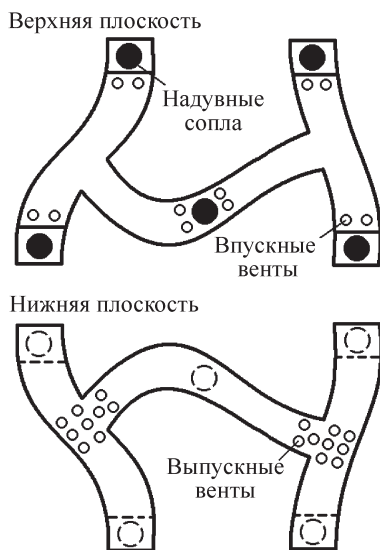


Рис. 34. Ящик стержня всасывающего коллектора

У стержней с однородным сечением (прямоугольник, квадрат, круг) это достигается установкой впускных и выпускных вент таким образом, чтобы они не были расположены друг против друга. При изготовлении стержней сложной профиля и конфигурации, которые имеют как тонкие сечения, так и утолщения, эту проблему решить сложнее. Следует учитывать, что газ будет всегда выбирать более короткий путь из зоны высокого давления (у вдувных вент) к зоне пониженного давления (у выпускных вент). Тогда большая длина пути катализатора в тонких сечениях будет в какой-то мере согласовываться с длиной пути в толстых сечениях.

В подавляющем большинстве случаев выпускные вент устанавливаются в наиболее отдаленных от впускных вент мест. При изготовлении простых по форме стержней выпускные вент располагаются в нижней части ящика; при изготовлении сложных – не только в нижней части, но и в местах утолщения или выступах. Таких вент по пути следования газа не должно быть много, так как это может привести к тому, что из-за потери давления нижерасположенные части стержня не затвердеют.

На рис. 33 приведены проверенные на практике схемы расположения впускных и выпускных вент при изготовлении стержней различной конфигурации. На рис. 34 показана система вент в ящике для стержня всасывающего коллектора. Все выпускные венты расположены в нижней половине ящика, а впускные совмещены с вдувными соплами. Это обеспечивает хорошее качество уплотнения и низкий расход катализатора.

Стержневые ящики с вертикальным разъемом. Для изготовления простых компактных стержней можно использовать стержневые ящики как с горизонтальным, так и с вертикальным разъемом. Площадь вдувных отверстий на 1 кг смеси обычно составляет $1,5 \text{ см}^2$; площадь выпускных – $0,7 \dots 1,5 \text{ см}^2$ на 1 кг смеси.

К стержневым ящикам с вертикальным разъемом в равной степени применимы ранее сделанные рекомендации по конструкции подводящих и отводящих трубопроводов. Стержни в ящиках с вертикальным разъемом легче надувать и продувать катализатором, когда эти операции осуществляют перпендикулярно к плоскости разъема.

4.3.4. Конструирование вдувного отверстия

Поскольку большинство стержневых ящиков с вертикальной плоскостью разъема заполняют сразу в рабочую зону по линии разъема, то здесь очень редко требуются вдувные сопла; как правило, используют только отверстия в надувной плите.

Для заполнения ящика смесью выполняют как круглые, так и продолговатые прорезы, причем последние используют при изготовлении продолговатых стержней.

Удачным считается решение по изготовлению отверстия со скосом под углом 45° на половине толщины надувной плиты. Это облегчает процесс истечения смеси из пескодувного резервуара, что, в свою очередь, несколько снижает требования к ней по текучести.

4.3.5. Размеры вдувного отверстия

Хотя правило "чем больше – тем лучше" справедливо, когда речь идет о размерах вдувного отверстия, тем не менее оно имеет вполне определенный предел, поскольку при чрезмерном увеличении этих отверстий возможна просыпь смеси из них и, как результат, загрязнение рабочей зоны и увеличение непроизводственных расходов.

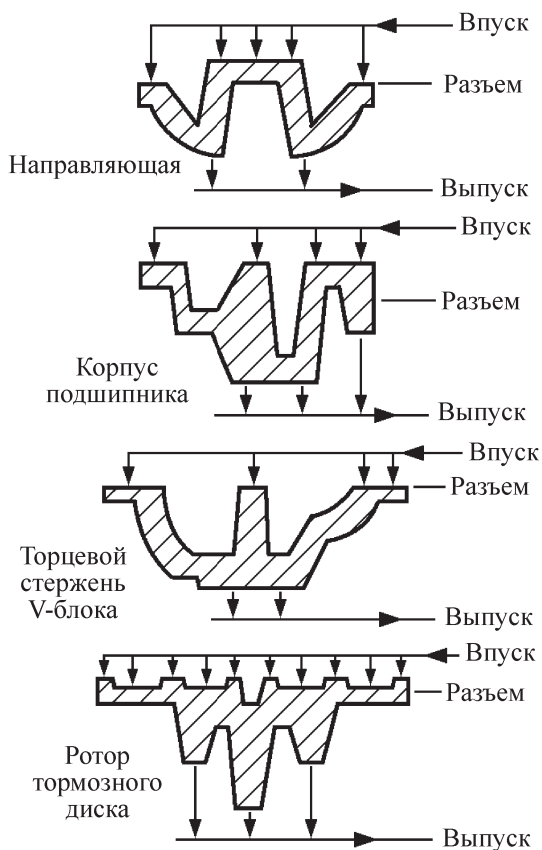


Рис. 35. Примеры устройства надува и вентиляции

Для большинства смесей с содержанием связующего 1,2...1,8 % оптимальными являются надувные щели шириной 15 мм или круглые отверстия диаметром 25 мм. Смесей с содержанием связующего 1 % требуют щели шириной 12 мм или отверстия диаметром 20 мм. Длину щели или число больших вдувных отверстий выбирают таким образом, чтобы обеспечить оптимальные условия для заполнения ящика.

При изготовлении протяженных стержней рекомендуют использовать большие по размерам щели или вдвунные отверстия, особенно при надуве плоских тонкостенных стержней.

При изготовлении больших по размерам пустотелых стержней, когда смесь должна перемещаться в разные стороны в неудобном для перемещения смеси направлении, применение больших надвунных отверстий в одних случаях целесообразно, а в других (в зависимости от разностенности стержня) может привести к недоуплотнению отдельных частей стержня. Проектирование оснастки в этих случаях требует индивидуального подхода.

4.3.6. Зоны продувки катализатором и воздухом

Для большинства вертикально ориентированных стержней зона отпечатка стержня (его проекция на плоскость) удобна для подачи катализатора и воздуха.

На рис. 35 показаны примеры устройства надува и вентиляции.

Обычно во многих случаях отпадает потребность в применении впускных вент, за исключением таких стержней, которые имеют большие выступающие части на расстоянии более 50 мм от места расположения вдвунного отверстия. В таких случаях для ускорения процесса отверждения устанавливают вдвунные венты на расстоянии 50 мм между их центрами.

Глава 5

РЕГЕНЕРАЦИЯ ХТС

В данной главе речь пойдет о принципах работы системы регенерации ХТС. Назовем общие из них.

1. Всю смесь, прилипшую к отливке, полностью направляют в регенерационную установку.

2. Комья не должны быть отделены, так как они по составу представляют собой всю рабочую смесь, подлежащую регенерации. Регенерационная установка должна измельчать комки и пускать их в оборот.

3. Очистка является механическим, термическим или смешанным управляемым удалением остатков связующего из смеси.

4. Температуру регенерата снижают настолько, чтобы не причинять вред последующему процессу смесеприготовления. Для ХТС она должна составлять не более 30 °С.

5. Регенерационная установка должна давать продукт, близкий по зерновому составу к свежему песку.

При решении вопроса о выборе технологии и оборудования для регенерации принимают во внимание следующие аспекты:

- экологическую ситуацию; узаконенные ограничения на вывоз из отвалы и свалку твердых отходов литейного производства;

- техническую ситуацию, которая включает характеристики состава отработанной смеси, требования к свойствам и условиям применения регенерата, возможности той или иной системы регенерации;

- экономические показатели, включающие в себя стоимость операций с отработанной смесью, стоимость регенерата и свежего песка, расходы на транспорт, хранение, возможное содержание регенерата в составе смеси и др.

Для контроля эффективности регенерации проверяют свойства регенерата: ППП, гранулометрический состав, кислотную потребность, состояние зерен по микроскопической оценке.

Для процессов с фенольно-эфирными связующими дополнительно проверяют остаточное содержание соединений калия. Максимальный эффект для ХТС этого типа дают нагрев песка и удаление 3...5 % измельченного песка в виде пыли без явного снижения в остатке компонентов связующего, в частности калия.

Контроль свойств регенерата в этом случае включает ситовой анализ, определение ППП, рН и содержания калия. Об эффективности регенерации судят по содержанию калия. При его содержании 0,05...0,15 %

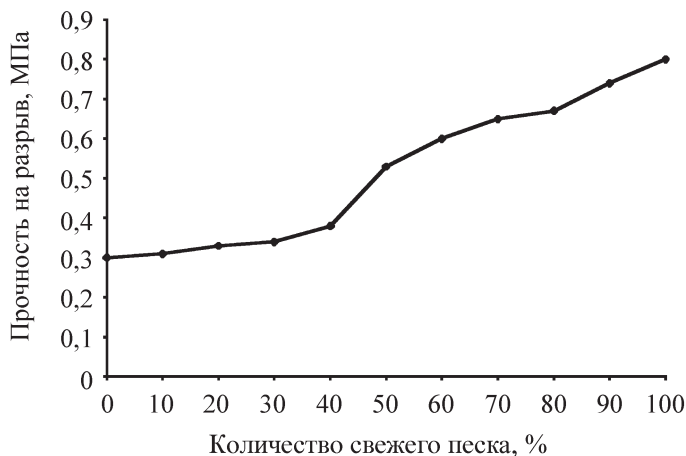


Рис. 36. Зависимость прочности на разрыв смеси для Альфа-сет-процесса от содержания свежего песка в регенерате

прочность смеси снижается незначительно. Важно, что добавка свежего песка в регенерат обеспечивает сохранение содержания калия на требуемом предельном уровне 0,15 %. Каждый цикл при содержании в смеси 1,4 % смолы добавляет в смесь 0,1 % калия.

Для расчетов пользуются следующими данными: 40 % освежения – 0,072 % калия; 30 % – 0,096 %; 20 % – 0,127 %; 15 % – 0,147 %; 10 % – 0,170 %.

Таким образом, типичное содержание регенерата в смеси 80...85 % дает необходимый уровень остаточного калия. На рис. 36 показано типичное соотношение между количеством свежего песка и прочностью смеси.

В промышленности применяют две системы регенерации: механическую и термическую. Они действуют по отдельности или последовательно: сначала механическая, затем термическая.

Механическая регенерация является основной на сталелитейных и чугунолитейных заводах при производстве среднего и крупного литья. Для нее характерны значительные прогревы смесей, удаление большого количества смол, возможность контроля ППП, что обуславливает высокий процент повторного применения. Повторное употребление регенерата не превышает 80...85 %, за исключением редких специфических ситуаций.

Добавление дополнительно 15...20 % свежего песка создает необходимость термической регенерации для более полного восстановления свойств песка.

Основные операции механической регенерации:

- выбивка форм;
- размол массы до подлинного размера зерен песка;
- удаление оболочек смолы истиранием;
- просеивание и удаление комочков (субзерен), пыли, металлических включений;
- охлаждение до заданной температуры.

Каждую операцию контролируют, так как любая из них может повлиять на качество конечного продукта.

При выбивке важны размеры колосниковой решетки. При небольших клетках уже на ней начинается процесс оттирки, так как смесь сразу не может пройти решетку и задерживается на ней.

Целью размола является доведение размеров зерен (комков) до приемлемых величин. Это делают чаще всего на вибрационных устройствах, чтобы не разрушать зерна. Разделение комков происходит вследствие взаимного истирания на перфорированной пластине входной ступени. На этой стадии уже начинается отделение смол, отходов и металлических включений.

Удаление остатков смолы путем оттирки. Принцип работы – взаимное оттирание зерен, активированное потоком воздуха. Удаляется 15...30 % смолы по сравнению с исходным содержанием. Это зависит от содержания смолы, ее вида в состоянии сшитого полимера, соотношения смесь:металл.

Классификация зерен, удаление мелкой фракции субзерна, обеспыливание. Регенерат просеивают в потоке воздуха, скорость которого устанавливают для отделения пыли от требуемого по размеру зерна. Важно применение высокоэффективного фильтра. Удаление частичек, не поддающихся измельчению, обеспечивает классифицирующее сито, установленное под регенератором.

Охлаждение регенерата и контроль конечной температуры. Регенерат должен быть охлажден до 25...30 °С в зависимости от вида смолы. Температура регенерата особенно важна для смесей с фенольно-щелочными смолами.

В установках механической регенерации меняются ППП: содержание мелкой и пылевидной фракций; конечная температура.

Внешние факторы, которые могут влиять на эффективность установок:

соотношение смесь:металл;

потеря 3...5 % песка в виде субзерен в результате деградации, вызванной термическим шоком;

потеря 2...3 % песка в ходе формовки и финишных процедур;

восполнение этих потерь (оно должно быть систематическим).

Некоторые элементы регенерационных установок должны адаптироваться к индивидуальным свойствам отдельных смол.

Механическая регенерация приемлема, в частности, при процессе Resol-SO₂. Помехой может быть остаточный бентонит в отработанной смеси. Он может взаимодействовать со связующим. Если в отработанной смеси нет бентонита, то ее прочность почти достигает прочности смеси со свежим песком.

Смесь с жидким стеклом значительно повышает реактивность смеси с резольной смолой и снижает прочность; нужно тщательно разделять эти смеси.

Термическая регенерация. Массу смеси обжигают в присутствии кислорода при температуре 700...800 °С. При этом смола полностью выжигается до коэффициента потерь менее 0,1.

Эксплуатационные параметры термической регенерации. В зависимости от прогрева происходит процесс самопроизвольной регенерации части отработанной смеси. Ниже приведена зависимость выхода самопроизвольного регенерата от соотношения смесь:металл.

Соотношение смесь:металл	Выход регенерата, %
1:1	95
2:1	65
3:1	58
4:1	40
5:1	25
6:1	8

При выборе регенерационной системы обязательным является экономический анализ ее эффективности.

На примере одной из стран ЕС в табл. 67 и 68 приведен сравнительный анализ затрат на применение свежего песка и регенерата.

Представленные расчеты предполагают применение 100 % регенерата. Но фактически доля регенерата в смесях находится на уровне 70...80 %.

67. Анализ затрат при регенерации без затрат на операции с отработанной смесью

Операция	Цена 1 т	Стоимость 3000 т/год	Стоимость 5000 т/год
Покупка свежего песка	15	45 000	75 000
Транспортировка свежего песка	9	27 000	45 000
И т о г о	24	72 000	120 000
Стоимость получения регенерата из смеси с фурановой смолой	1,6	4800	8000
Стоимость получения регенерата из смеси с жидким стеклом	9,1	27 300	45 500
Прибыль для смеси с фурановой смолой	–	67 200	112 000
Прибыль для смеси с жидким стеклом	–	44 700	74 500

Примечание. Денежные суммы приведены в условных единицах.

68. Анализ затрат при регенерации с учетом затрат на операции с отработанной смесью

Операция	Цена за 1 т	Стоимость 3000 т/год	Стоимость 5000 т/год
Покупка свежего песка	15	45 000	75 000
Транспортировка свежего песка	9	27 000	45 000
Транспортировка в отвалы	5,5	16 500	27 500
Оплата за складирование в отвалах	14	42 000	70 000
И т о г о	43,5	130 500	217 500
Стоимость получения регенерата из смеси с фурановой смолой	1,6	4800	8000
Стоимость получения регенерата из смеси с жидким стеклом	9,1	27 300	45 500

Окончание табл. 68

Операция	Цена за 1 т	Стоимость 3000 т/год	Стоимость 5000 т/год
Прибыль для смесей с фурановой смолой	–	125 700	209 500
Прибыль для смесей с жидким стеклом	–	103 200	172 000

Примечание. Денежные суммы приведены в условных единицах.

69. Сравнение механической и термической регенерации смеси Альфа-сет-процесса

Характеристика наполнителя	Прочность на разрыв, МПа, через 1 ч после отверждения	Прочность на разрыв, МПа, через 24 ч после отверждения
Механический регенерат, 100 %	0,16	0,27
Термический регенерат при 590 °С; 0,6 % добавки	0,44	0,89
Термический регенерат при 760 °С; 0,6 % добавки	0,41	0,96
Свежий песок	0,46	1,05

В приведенных расчетах также не учтена экономия за счет снижения содержания смол и катализаторов. На практике она не превышает уровня 0,8...1 %. На самом деле эта экономия сравнима с прибылью, связанной с результатами отказа от покупки свежего песка.

Повторное употребление регенерата для типичных ХТС составляет 80...85 %. Для более полной очистки и повышения качества регенерата в некоторых случаях механическую регенерацию совмещают с термической.

Применение механической регенерации ХТС со щелочными фенольными смолами (процессы Альфа-сет и Бета-сет) снижает прочность смеси, что, в свою очередь, требует значительного, до 30...50 %, добавления свежего песка. Проблема связана с накоплением в регенерате органических (ацетатов, формиатов, лактатов) и неорганических соединений калия.

Сравнение эффективности механической и термической регенерации с применением специальных добавок представлено в табл. 69.

Для повышения прочности смеси с регенератом разработана технология химико-термической доработки регенерата, полученного механическим способом. Регенерат пропускают через смеситель непрерывного действия, в котором он обрабатывается 10%-ным раствором соляной кислоты в количестве 2,5 % от массы регенерата. Затем его выдерживают при 730 °С в течение 30 мин с помощью сушила, работающего по принципу кипящего слоя. При обработке регенерата соляной кислотой образуется хлорид калия, ППП сокращается с 1,8 до 0,1 %, содержание остаточного иона калия – с 0,12 до 0,07 %. В результате восстанавливается прочность до уровня показателя смеси на основе свежего песка (рис. 37).

Существует ряд других методов обработки механического регенерата, которые детально рассмотрены в работах [4, 5].

Западные фирмы производят механические регенерационные установки различной конструкции. Например, японская фирма Sinto предла-

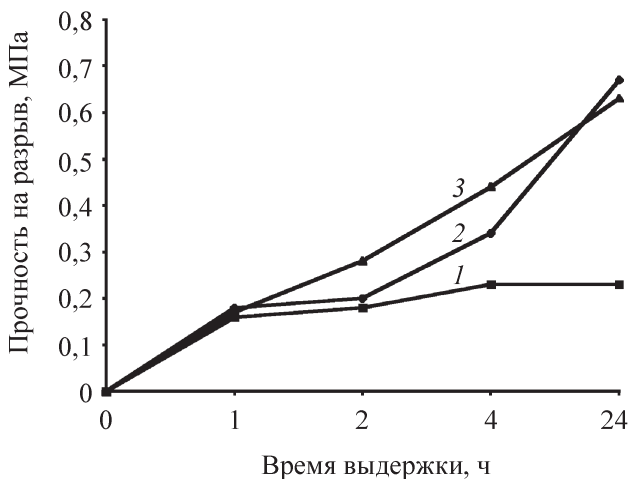


Рис. 37. Прочность на разрыв ХТС на свежем песке (1), с механическим (2) и обработанным (3) регенератами

гает серию установок Usr-2-3, Usr-1, Wsr-2. Эти установки регенерируют ХТС и ПГС для общего снижения стоимости переработки отработанных смесей.

Модель Usr-2-3 непрерывного типа представляет собой систему сжимающих роликов. Этот высокоэффективный регенератор использует управляемую систему прессующих роликов. Ролики, смонтированные на качающихся осях, легко перемещаются.

Модель Usr-1 – периодический регенератор, применяемый для регенерации ХТС при производительности 0,5...1,5 т/ч для малых количеств ХТС: менее чем 40 кг по загрузке. Установка имеет простой механизм, легка в обслуживании, ее работа основана на методе декомпрессионного уплотнения. Обладает высокой износостойкостью, поскольку керамические детали пригодны для длительной эксплуатации. Установка Wsr-2 – ротационная система для ХТС фуранового процесса, представляет собой комбинацию ротационного размола и обработки в сжиженном слое при обеспыливании, обеспечивает высокую эффективность регенерации. На рис. 38 приведено сравнение эффективности регенерации систем Usr и Wsr.

Вся гамма регенераторов фирмы Sinto приемлема для фурановых, фенольных, уретановых и жидкостекольных смесей, а также смесей для Croning-процесса.

Установки ведущей немецкой фирмы Wohr, производящей регенераторы, возвращают минимум 96 % отработанной смеси. Системы работают автоматически от выбивки форм до складирования песка.

При эксплуатации отсутствуют пыль и шум, регенерат имеет постоянную температуру, которая положительно влияет на технологические свойства и снижает потребность в связующем. Производительность установок 1...60 т/ч. Выбитая смесь, свободная от посторонних примесей, содержит комки разной величины. Они измельчаются в вибрационной дробилке. Далее смесь проходит сита и по качающемуся конвейеру переходит на входной уровень вибродробилки. Здесь еще находятся неклассифицируемые примеси смеси, которые удаляются через заслонку дробилки.

Формы выбиваются на решетке, там же смесь удаляется из фрагментов отливки. Вся конструкция базируется на резиновых амортизаторах, которые поглощают динамические силы нижней части. Выбитая смесь транспортируется к магнитной шайбе для отделения металлических включений, которые от шайбы падают в специальную шахту.

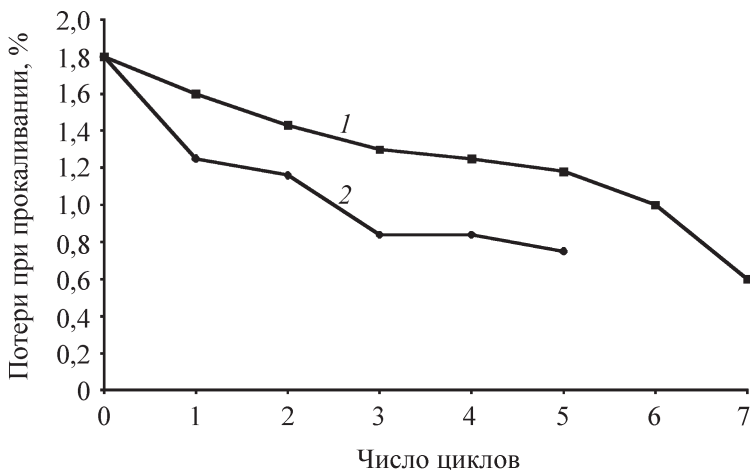


Рис. 38. Сравнение эффективности регенерационных установок Wsr (1) и Usr (2)

После измельчения смеси и отделения посторонних включений необходимо удалить пыль. Смесь с помощью пневмотранспорта подается к вибропротивоточному сепаратору, на каскадном поддоне она одновременно разделяется и удаляется вниз благодаря вибрации. На этом участке смесь обдувается непрерывным потоком воздуха, уносящим пыль, которая осаждается в фильтрационной установке.

Затем песок падает в охладитель, настроенный применительно к конкретным условиям литья. Регулируются поверхность охлаждения, сечение теплообменника, расход охлаждающей воды, а также ее температура.

Одной из разновидностей механических установок является система динамической регенерации итальянской фирмы IMF. Она позволяет очищать зерна лучше, чем известные методы. Систему применяют при высоких значениях смесь/металл, при работе с фенольно-щелочными, фурановыми, фенольными и полиуретановыми смолами. Работа системы состоит из четырех операций:

разрушения комьев и предварительной регенерации отработанных смесей в выбивном виброустройстве;

оттирки пленок связующего в ротационном регенераторе;
классификации песка;
обеспыливания.

Благодаря конструкции регенерационной башни мощность установки достигает 5...20 т/ч.

Работа установки характеризуется следующими особенностями.

Выбивка и предварительная регенерация. Выбивной вибратор (решетка) разрушает комья смеси. Смесь падает через пазы предварительного регенератора, где благодаря вибрации происходит двустороннее истирание смеси и пленки частично удаляются. Частички металла и клея отделяются на перфорированном листе и периодически с помощью заслонки с пневмоприводом выгружаются.

Регенерационная башня. Регенерируемая смесь, свободная от крупных включений, вносится в верхнюю часть башни. Смесь падает на ротор, который быстро вращается, причем смесь вращается против статора. Вновь поступающая смесь вращается навстречу остающейся на статоре смеси и продолжает, таким образом, истираться, освобождаясь от смолы. Эффективность очистки зависит от высоты роторного кольца и конструкции колец статора.

Обеспыливание и охлаждение. После очистки песок падает в зону кипящего слоя, где, находясь в состоянии равновесия, продувается снизу воздухом. Отделяемые мелкие частицы и пылинки двигаются вверх кипящего слоя и направляются в рукавный фильтр. Охлаждение смеси происходит в батарее водоохлаждаемых труб, которые вмонтированы внизу установки. Охлаждение воды происходит снаружи, в испарительной охладительной башне. Система функционирует автоматически и гарантирует оптимальное охлаждение, так же, как и качество песка. Главный узел обработки песка образуют усиленная оттирочная часть и постель с кипящим слоем материала.

Ряд предприятий используют установки немецкой фирмы Klein. В них опока выбивается прямо на решетке, так что комья и песчинки падают в корпус дробилки. Трехкоординатное движение винтовой дробилки обеспечивает трение массы комьев до разрушения при одновременной обработке зерен (песчинок). Через щели в днище дробилки смесь попадает на внешний винт. Крупные металлические и другие включения остаются в приемной чаше дробилки и удаляются ручным открытием шибера. На специальном сите на внешней винтовой поверх-

ности песок и агрегаты разделяются, и песок передается наверх к выгрузке. При повторной обработке оставшихся агрегатов возможно появление новых зерен песка.

В другом варианте наклонная дробилка разгружает комья в наклоне на качающемся желобе или на транспортере. В корпусе дробилки в нижнем слое комья подвергаются интенсивному истиранию. Разбитые куски через отверстия в поддоне падают на специальный неизнашиваемый транспортер. Неразрушаемые куски и металл остаются в корпусе и удаляются через шибер.

Регенерационная ступень фирмы Rotareg состоит из центробежного очистителя, пневмотранспортера и классификатора с кипящим слоем. В очистителе пленки истираются. Однако скорость вращения ротора выбирают таким образом, чтобы истирание происходило практически без столкновений. Детали машины, которые работают с песком, сделаны из специальных износостойких материалов. Транспортер подает материал от очистителя к классификатору. В нем оттертые частички отделяются потоком воздуха.

Можно обрабатывать песок один раз или многократно. С каждым оборотом ППП снижается на 0,3...0,5 %. Классификатор одновременно является охладителем. Кроме соотношения смесь: металл ППП в отработанной ХТС зависит от содержания смолы и катализатора; температуры заливки металла; отношения поверхности отливки к ее массе; времени между заливкой и выбивкой.

Если это время велико, газы конденсируются в смеси, что требует большей продолжительности оттирки.

Для тех случаев, когда в систему выбивки попадает смесь кварцевого песка и хромита, возникает необходимость в их разделении. Хромит намного дороже кварцевого песка.

Установка, включаемая в систему выбивки и регенерации, дает чистое разделение, продукты могут применяться для освежения обоих видов смесей.

Сепарация текучего и обеспыленного песка происходит многоступенчато в комбинированной технологии, проходя через две магнитные ступени; разделение в них происходит по плотности, а также путем просеивания. На первой ступени разделения кварцевый песок благодаря мощному магнитному барабану отделяется от магнитного материала. Кварцевый песок может сразу поступать в оборот. Так называемая маг-

70. Совместимость процессов изготовления форм и стержней при использовании регенерата

Происхождение регенерата при различных связующих	Вид связующего			
	Смолы с кислотными катализаторами	Полиуретановые связующие	Ероху-SO ₂	Щелочные фенольные смолы
Смолы с кислотными катализаторами	Совместимы	Ограниченно совместимы	Совместимы	Ограниченно совместимы
Полиуретановые связующие	Ограниченно совместимы	Совместимы		
Ероху-SO ₂	Совместимы			
Щелочные фенольные смолы	Несовместимы	Ограниченно совместимы	Ограниченно совместимы	Совместимы

нитная фракция проходит три остальные ступени установки, в которой хромит дополнительно регенерируется. Затем немагнитные материалы, например экзотермические смеси, извлекают из отработанной смеси, что значительно улучшает качество поверхности.

Установки Rotareg обычно встраиваются в регенерационные системы. Установка в короткий срок окупается из-за высокой стоимости хромита. Их мощность составляет 2,5...12,5 т/ч, чистота получаемых продуктов: менее 1 % SiO₂ и менее 1 % Cr₂O₃.

В табл. 70 приведены ориентировочные рекомендации по совместимости процессов изготовления форм и стержней, по данным фирмы Fata.

Сырые песчано-глинистые смеси сочетаются со смесями других типов (прежде всего с ХТС) с определенными ограничениями.

Фирма Fata приводит следующие экономические показатели работы установки "Есо-Rec" для терморегенерации стержневой смеси производительностью 3 т/ч (цены приведены по состоянию на 2005 г.):

Стоимость расходуемых материалов и операций:

свежего песка 540 руб./т;

вывоза в отвал 430 руб./т;

регенерации при режиме работы 24 ч в сутки:

газа $40 \text{ м}^3/\text{т} - 1,1 \text{ руб./м}^3$;

электроэнергии $20 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т} - 0,43 \text{ руб./}(\text{кВт}\cdot\text{ч})$;

сжатого воздуха и воды 4,4 руб./т;

техобслуживания и охраны 78 руб./т;

освежения 8 % песка – 43 руб./т;

удаления 8 % пыли – 35 руб./т;

общая стоимость регенерации 213 руб./т.

Таким образом, при общей стоимости свежего песка и вывоза в отвал 970 руб./т разница между использованием свежего песка и регенерата составляет 757 руб./т.

Учитывая, что установка "Есо-Rec" производительностью 3 т/ч может обрабатывать 18 000 т/год песка, а инвестиции на ее приобретение составляют 35...40 млн руб., годовая экономия за счет эксплуатационных расходов составит 13 626 000 руб., что позволит вернуть инвестиции за 2,5–3 года.

Глава 6

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОМПОНЕНТОВ ХТС И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Экологическая характеристика связующей композиции и технологического процесса изготовления на ее основе стержней и форм складывается из нескольких элементов. К ним относятся правила техники безопасности при работе с компонентами смеси и вспомогательными материалами, выделение в атмосферу токсичных газов при смесеприготовлении и заполнении оснастки, выдержки в оснастке до сборки формы и заливки металлом ("холодная стадия"), выделение токсичных газов, накопление конденсата в период заливки формы металлом, затвердевания и охлаждения отливки, выбивки ("горячая стадия"), особенности поведения отработанных смесей и отходов при депонировании в отвалах с точки зрения их влияния на окружающую среду, состояние водных ресурсов.

Анализ этих условий позволяет обеспечить безопасные условия работы для персонала, ликвидировать последствия возможных нарушений в производстве, спроектировать систему и параметры вентиляции в производственных подразделениях, рассчитать и согласовать с органами надзора токсичные выбросы в атмосферу из литейного цеха, разрабатывать физико-химические и технологические методы снижения газовыделений, сократить расходы, связанные с соблюдением экологических норм и правил.

Для принятых в современном производстве технологий с использованием ХТС опубликованы основные санитарно-гигиенические и экологические характеристики, методы расчетов и анализа [3]. Исследования в этом направлении продолжают, накапливаются новые данные, вводятся обобщенные критерии токсичности связующих. Важно подчеркнуть, что вопрос о токсичности какого-либо вида смеси, который часто возникает при ее оценке, при решении вопроса о внедрении, не имеет однозначного ответа. Решение этого вопроса зависит от условий конкретного производства: номенклатуры отливок, вида сплавов, объема и серийности выпуска, имеющегося технологического оборудования, возможностей вентиляции, условий хранения и транспорта материалов. Все эти факторы необходимо учитывать наряду с предварительно установленными объективными показателями применяемых материалов, таких как исходный химический состав, состав продуктов деструкции при разных температурах и т.д.

6.1. СМЕСИ ДЛЯ САМОТВЕРДЕЮЩИХ ХТС (NO-BAKE)

В табл. 71 приведена номенклатура выделяющихся в атмосферу вредных веществ для ХТС с фенолоформальдегидными, фенолофурановыми и карбамидно-фурановыми смолами отечественного производства.

На рис. 39, 40 и 41 приведены кинетические уровни газовыделений для ХТС с фенольными, фенолофурановыми и карбамидно-фурановыми смолами на холодной стадии. Данные получены экспериментально по специально разработанной методике [4].

Аналогичные показатели по газовыделениям можно использовать и для ХТС со смолами зарубежных производителей.

71. Вредные вещества, выделяющиеся из ХТС для процессов No-Bake

Смолы	Вредные вещества, выделяющиеся	
	при изготовлении стержней и форм	при заливке, охлаждении, выбивке
Фенолоформальдегидные РСФ-3010	Ацетон, метанол, формальдегид, фенол	Оксид углерода, ацетон, формальдегид, фенол, метанол, бензол
Фурановые "РЕЗОФОРМ"	Формальдегид, метанол, фурфурол	Оксид углерода, метанол, бензол, фурфурол
Карбамидно-фурановые КФ-65С*, БС-40*	Метанол, формальдегид, фурфурол, фуриловый спирт	Оксид углерода, метанол, формальдегид, фурфурол, аммиак, цианиды
Фенолофурановые ФФ-1Ф**	Метанол, формальдегид, фенол, фурфурол, фуриловый спирт	Оксид углерода, метанол, формальдегид, фенол, бензол, метанол, фурфурол, фуриловый спирт, сернистый ангидрид

*Катализатор – ортофосфорная кислота.

** Катализатор – бензолсульфокислота.

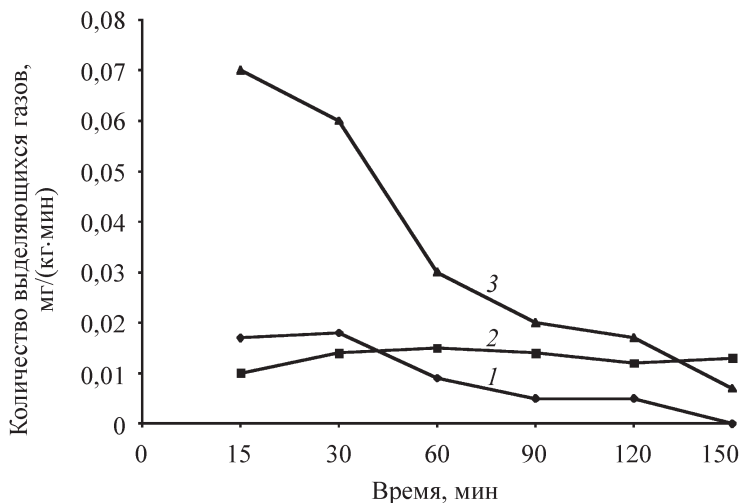


Рис. 39. Количество токсичных веществ, выделяющихся из ХТС с фенольными смолами на холодной стадии:
1 – фенол; 2 – метанол; 3 – формальдегид

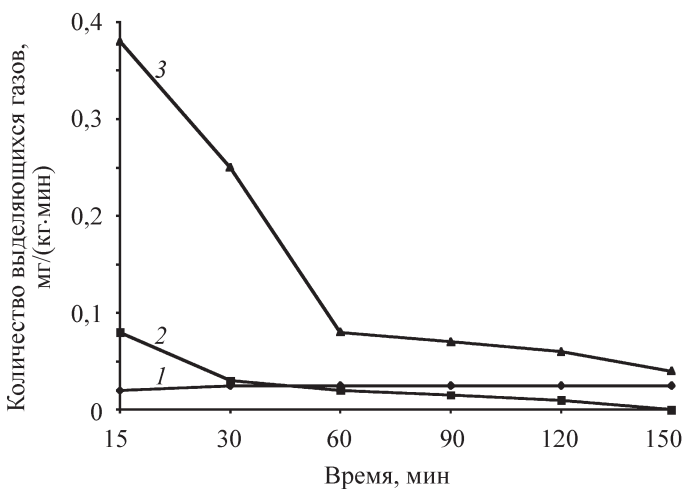


Рис. 40. Количество токсичных веществ, выделяющихся из ХТС с фенолофурановыми смолами на холодной стадии:
1 – фенол; 2 – формальдегид; 3 – метанол

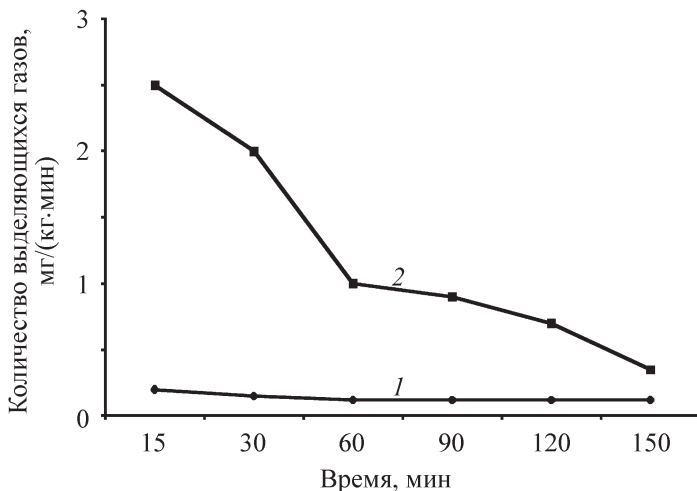


Рис. 41. Количество токсичных веществ, выделяющихся из ХТС с карбамидно-фурановыми смолами на холодной стадии:

1 – формальдегид; 2 – метанол

Приближенный метод расчета скорости выделения каждого токсичного компонента в зависимости от состава смеси и прогрева стержня или формы состоит в следующем. Толщина L прилегающего к отливке слоя смеси, прогретого до температуры выше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, из которого выделяются продукты деструкции, меняется в зависимости от прилегающей толщины стенки отливки и условий теплообмена. Так как степень деструкции связующего зависит от температуры, а температурное поле характеризуется значительным градиентом, слой толщиной L разбит на отдельные слои толщиной l_i , каждый из которых находится в температурном интервале ΔT_i . В этом случае количество газов Q_i , выделившееся на каждом квадратном дециметре площади контакта отливки со смесью толщиной L , может быть определено по уравнению

$$Q_i = \sum l_i m(f_1 f_2 \gamma),$$

где l_i – толщина слоя в интервале температур ΔT_i в момент времени τ , дм; m – содержание связующей композиции, г/кг смеси; f_1 – коэффициент деструкции, средний в интервале температур ΔT_i ; f_2 – коэффициент

72. Коэффициенты деструкции и конденсации f_1 и f_2 для связующих ХТС

Смола	Коэффициенты	Температурный интервал прогрева смеси, °С					
		100... 200	200... 300	300... 500	500... 700	700... 1000	1000... 1200
Фенольная	f_1	0,045	0,077	0,21	0,48	0,75	0,94
	f_2	0,3	0,4	0,55	0,65	0,8	0,8
Карбамидно-фурановая	f_1	0,11	0,28	0,46	0,63	0,9	1

конденсации в интервале температур ΔT_i ; γ – плотность смеси, для ХТС $\gamma = 1,55 \dots 1,60 \text{ г/см}^3$.

Удельное газовыделение q с единицы поверхности толщиной L , $\text{г}/(\text{дм}^2 \cdot \text{мин})$, Q/τ , где τ – время выделения газов.

Такой расчет может быть выполнен для любой продолжительности охлаждения отливки (вплоть до выбивки). Чаще всего для проектирования вентиляции наиболее важно газовыделение в течение первого часа, так как за этот период объемная скорость этого процесса резко снижается. Коэффициент f_2 учитывает, что по пути к атмосфере газовый поток фильтруется через более холодные слои смеси. На выходе температура близка к окружающему воздуху, поэтому компоненты с температурой кипения выше 30...40 °С остаются в виде конденсата в массе смеси.

Определенные опытным путем коэффициенты f_1 и f_2 для фенольных и карбамидно-фурановых смол приведены в табл. 72.

Для приближенных расчетов можно использовать данные о составах газовых смесей при разных температурных интервалах для данного типа ХТС. При этом необходимо знать среднюю толщину стенки отливки и площадь смеси, контактирующей с металлом. Скорость выделения каждого компонента вычисляется с учетом того, что среднее соотношение слоев, прогретых в интервале температур 100...200, 200...500, 500...700 °С, составляет соответственно 20, 30 и 50 %. Тогда скорость газовыделения i -го компонента составит

$$v_{\text{отл } i} = 0,01 v_{\text{отл}} (0,2C_{i150} + 0,5C_{i400} + 0,5C_{i700}).$$

73. Содержание связующих в ХТС и свободных мономеров в фурановых и фенольных смолах холодного отверждения, используемых в разные годы

Параметр смеси	1960 г.			1975 г.		1996–2000 гг.		
	Фурановая смола	Фенолформальдегидная смола	Фурановая смола-ортофосфорная кислота	Фурановая смола-ПТСК	Фурановая смола-ПТСК	Фенольная смола-ПТСК	Фурановая смола-ПТСК	Фенольная смола-сульфокислота
Содержание связующего, мас.ч.	2...2,5	0,8	1,0	1...1,2	0,9	1,0	1,0	0,9
Свободный фенол, %	4...5	0,5	0	0	0	<5	<5	10...12
Свободный формальдегид, %	4...5	1,3	1,3	0,8...1,3	<0,2	<0,3	<0,3	<1
Фуриловый спирт, %	–	0	52	73...95	70	0	0	0

где $v_{отл\ i}$ – скорость выделения i -го компонента; $v_{отл}$ – полная скорость газовыделения из данной отливки; C_i – скорость выделения i -го компонента из слоев смеси, прогретых соответственно до 150, 400 и 700 °С.

Здесь введены процентные доли данного компонента в газовой смеси для трех температурных интервалов; эти значения необходимо брать из данных химического анализа состава воздушной среды в каждом температурном интервале для опытных образцов смеси.

В течение ряда лет предпринимаются попытки улучшить экологическую ситуацию по этой группе смол путем сокращения их содержания в смесях и снижения концентрации в смолах свободных токсичных мономеров. Некоторые результаты в этом плане, достигнутые производителями смол и технологами-литейщиками, приведены в табл. 73.

6.2. СМЕСИ С ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫМИ СМОЛАМИ, ОТВЕРЖДАЕМЫЕ ЭФИРАМИ

Экологические характеристики связующих и катализаторов для этих процессов, возможные методики расчетов для действующих производств приведены по материалам технических условий российских и зарубежных производителей, а также выполненных автором расчетов.

Связующее, аналогичное по составу и свойствам для процессов Альфа-сет и Бета-сет, является токсичным продуктом. По степени воздействия на организм человека согласно ГОСТ 12.1.007–76 оно относится ко второму классу опасности (табл. 74).

Контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005–84. Концентрации вредных веществ измеряют по методикам, утвержденным Минздравом России в установленном порядке. Отбор проб, промывку, обработку аппаратуры и тары, анализ связующего проводят в соответствии с внутренними правилами по безопасному ведению работ, разработанными изготовителем и потребителем. Операции при работе со связующим проводят в помещениях, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией в соответствии с ГОСТ 12.4.021–75. Помещения для хранения исходных компонентов и продукта должны быть оборудованы механической общеобменной вентиляцией по ГОСТ 12.4.021–75.

Работающие со связующим должны быть обеспечены индивидуальными средствами защиты от попадания продукта на кожные покровы и слизистые оболочки в соответствии с ГОСТ 12.4.011–89 и 12.4.103–83 и типовыми отраслевыми нормами:

костюмом хлопчатобумажным по ГОСТ 12.4.111–82 или 12.4.112–82;

74. Токсико-гигиенические характеристики вредных веществ в связующем для процессов Альфа-сет и Бета-сет

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Компонент А (фенолоформальдегидная смола)	Устанавливают по фенолу и формальдегиду	2	Жидкость
Фенол	0,1	2	Газ
Формальдегид	0,05	2	
Компонент В (метилформиат)	250	4	

обувью кожаной по ГОСТ 12.4.137–84;
 перчатками резиновыми по ГОСТ 20010–93 или перчатками трикотажными по ТУ 17 РСФСР 8336–75;
 рукавицами по ГОСТ 12.4.010–75;
 очками защитными по ГОСТ Р 12.4.013–83;
 респираторами РПГ-67 марки А по ГОСТ 12.4.004–74 и промышленными противогазами марки А по ГОСТ 12.4.121–83 (для защиты от летучих вредных веществ).

При ингаляционном воздействии следует вывести пострадавшего на свежий воздух, обеспечить тепло, покой и вызвать врача. При попадании на кожу компонентов связующего его смывают большим количеством воды с мылом, затем кожу смазывают жировыми кремами или пастами по ГОСТ 12.4.068–79. Запрещается мытье рук растворителями. При попадании в глаза их необходимо обильно промыть струей воды, затем обратиться к врачу. Загрязненную одежду обезвреживают механической стиркой с моющими средствами.

При разливе связующего его необходимо засыпать песком, собрать совком, исключая образование искрообразования, поместить в специальную металлическую емкость для передачи на утилизацию термическим способом. Аналогично уничтожают некондиционный и не нашедший применения продукт.

В качестве катализаторов используют жидкую смесь эфиров или газообразный метилформиат. В первом случае катализатор относится к числу легко воспламеняющихся жидкостей. Для него температура вспышки

75. Характеристики токсичных веществ в метилформиате

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Метилформиат	250	4	Жидкость
Метанол	5	3	Жидкость

в закрытом тигле составляет не менее 47 °С; температура вспышки в открытом тигле не менее 57 °С. Температура самовоспламенения паров в воздухе не менее 380 °С, нижний предел взрываемости в смеси с воздухом не менее 1,4 % (объемная доля); верхний не более 9,0 % (объемная доля).

При транспортировании и хранении применяют знак безопасности "Запрещается пользоваться открытым огнем". Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.004–91, по защите от статического электричества – ГОСТ 12.1.018–93.

Средства пожаротушения:

для основного связующего – воздушно-механическая и химическая пены, асбестовое полотно, песок, углекислый газ, вода;

для катализатора – воздушно-механическая и химическая пены, порошок ПСБ-3, углекислый газ, вода.

Метилформиат содержит токсичные компоненты – собственно метилформиат и метанол (табл. 75).

Метилформиат – легковоспламеняющаяся жидкость, температура вспышки –21 °С, температура самовоспламенения 456 °С, концентрационные пределы распространения пламени: нижний –30 °С, верхний –4 °С; категория взрывоопасности по ГОСТ 12.1.012 ПА-Т2.

Персонал должен быть обеспечен индивидуальными средствами защиты от попадания метилформиата на кожные покровы и слизистые оболочки:

костюмом хлопчатобумажным по ГОСТ 12.4.111–82 или 12.4.112–82;

обувью кожаной по ГОСТ 12.4.137–84;

перчатками резиновыми по ГОСТ 20010–93 или перчатками трикотажными по ТУ 17 РСФСР 8336–75;

рукавицами по ГОСТ 12.4.010–75;

очками защитными по ГОСТ Р 12.4.013–82.

При попадании метилформиата в глаза надо промывать их не менее 15 мин проточной водой или до прекращения раздражения, при наличии

жалоб – обратиться к врачу. При попадании метилформиата на одежду следует удалить загрязненную одежду. Если он попал на кожу, нужно промыть пораженное место большим количеством воды с мылом. При попадании его внутрь не надо вызывать рвоту, а необходимо промыть рот водой и пить воду или молоко мелкими глотками для исключения вредного воздействия на горло или желудок, затем обратиться к врачу.

При возгорании требуется применять средства пожаротушения: распыленную воду, воздушно-механическую или химическую пену, порошок ПСБ. Пролиты надо засыпать песком или опилками. Хранение метилформиата следует осуществлять в таре поставщика в вентилируемом помещении при температуре 5...30 °С.

Оборудование и тара для изготовления, транспортировки и хранения связующего для процессов Альфа-сет и Бета-сет должны быть тщательно герметизированы. Подача связующего в смеситель для приготовления песчано-смоляной смеси должна осуществляться с помощью вакуума, азотного давления, насосов или другим способом, позволяющим исключить попадание вредных веществ в окружающую среду. Связующее должно применяться в соответствии с санитарными правилами для литейного производства (заводов, цехов, участков) № 5183–90.

Для производственных расчетов газовыделений [4] необходимы следующие исходные данные: состав формовочной смеси, вид сплава и температура заливки, размеры форм и стержней для выбранных отливок-представителей. Отливки выбирают таким образом, чтобы в первом приближении охарактеризовать основную номенклатуру для данного производства. При небольшой номенклатуре более точный расчет может быть сделан для всех отливок в данном цехе или на участке.

К исходным данным относятся также параметры термодеструкции: общее количество выделившихся за процесс газов и зависимость степени деструкции от температуры. Для данного примера расчета соответствующие результаты экспериментов приведены на рис. 42 для смеси, содержащей 1,8 мас.ч. связующего и 0,6 мас.ч. отвердителя.

Указанные показатели получены для деструкции в атмосфере воздуха и азота. Последний вариант больше соответствует реальной атмосфере в литейной форме, где газовая среда ближе к восстановительной, поэтому его лучше принимать для расчетов. По приведенным термогравиметрическим кривым фенольной связующей композиции легко определить степень деструкции в любом температурном интервале и рассчитать удельную массу образующихся газообразных продуктов для выбранных интервалов. Полученные данные для указанного варианта расчета приведены в табл. 76.

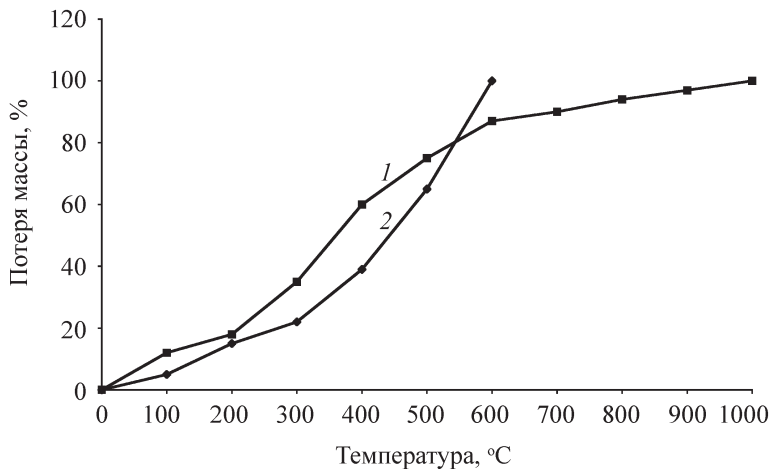


Рис. 42. Термограмма деградации связующего смеси для Альфа-сет-процесса на воздухе (1) и в азоте (2)

Данные Американского общества литейщиков и информационных бюллетеней фирмы Ashland Chemical по термодеструкции 1 г связующей композиции для Альфа-сет- и Бета-сет-процессов приведены в табл. 77, фенольной смолы – в табл. 78.

76. Показатели термодеструкции фенольного связующего

Температурная зона, °C	Степень термодеструкции, %	Масса газообразных продуктов на 1 кг смеси
20...200	30	7,2
200...400	65	15,6
200...600	87	20,9
Св. 600	100	24,0

77. Средний состав продуктов деструкции для процессов Альфа-сет и Бета-сет

Вещество	Масса, мг на 1 г связующей композиции	Массовая доля, % на 1 г связующей компо- зиции
Монооксид углерода	27	5,4
Фенол	1,5	0,3
Формальдегид	0,75	0,15

Другим исходным параметром для расчета газовыделений является поле максимальных температур в стержне или форме, которое соответствует максимальной степени деструкции и, соответственно, предельному объему эмиссии. Поля максимальных температур в абсолютных и относительных координатах, определенные автором, приведены на рис. 43 и 44. По приведенным данным, для системы отливка – форма (стержень) может быть определена толщина слоя смеси, прогретого в заданном интервале температур. Тогда можно определить массу газов, выделяющихся из формы или стержня, и удельное количество токсичных газов при производстве данной отливки. В данном примере расчеты производили для конкретной отливки короба со следующими характеристиками: масса формы 3450 кг; средняя толщина формы $X_{cp} = 350$ мм, $X/R = 10$ (где X – текущее расстояние от поверхности раздела отливка – форма; R – половина толщины стенки отливки).

78. Выделение продуктов деструкции фенольной смолы, мг газа на 1 г смолы

Время, мин	Формальдегид	Фенол	Ароматические углеводороды
0...15	0,37	0,46	2,78
16...30	0,52	0,65	1,83
31...45	0,57	0,46	0,92
46...60	0,40	0,31	0,68

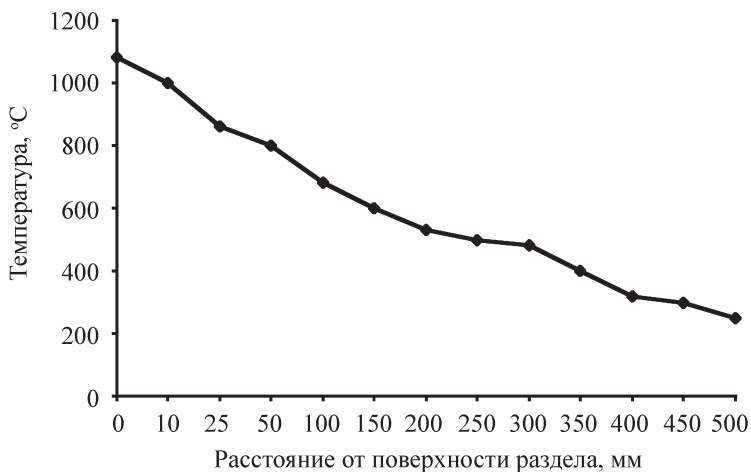


Рис. 43. Поле максимальных температур в форме (стержне) для отливки с толщиной стенки 100 мм из стали Г13Л

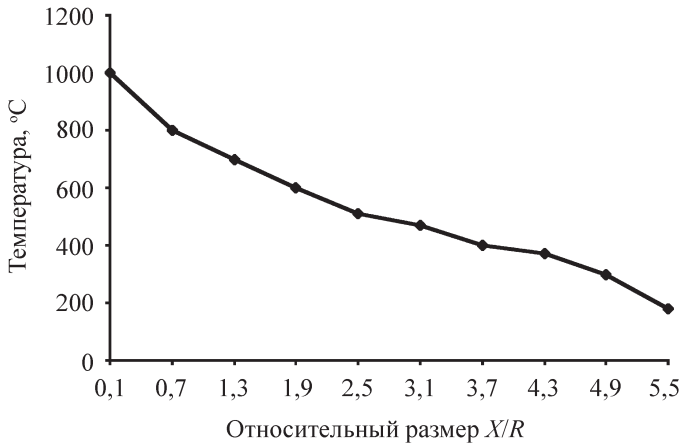


Рис. 44. Поле максимальных температур в форме (стержне) в относительных координатах для отливки из стали Г13Л с толщиной стенки 100 мм:

X – текущая координата (расстояние) от поверхности раздела отливка – форма;
 R – половина толщины стенки отливки

79. Результаты расчета массы выделяющегося газа из стержней, изготовленных по Альфа-сет-процессу

Температурный интервал, °С	Длина зоны, мм	Длина зоны, %	Масса смеси, кг	Масса газа, г/кг смеси	Общая масса газа, кг
20...200	154	44	1518	7,2	10,8
200...400	63	18	621	15,6	9,7
400...600	77	22	759	20,9	15,8
Св. 600	56	16	552	24,0	13,2
Итого					49,5

По рис. 44 определяем толщину слоев формы для каждого температурного интервала по текущей координате X/R . Например, для интервала 200...400 °С текущая координата $5,5 - 3,7 = 1,8$. Соответственно $L = 1,8 \times \times 35 = 63$ мм. Порядок и результаты расчета для конкретной отливки показаны в табл. 79 и 80.

В табл. 81 приведены итоговые данные по четырем типовым отливкам данного производства.

80. Выделения из формы отливки короба по видам токсичных газов

Газ	Содержание газа в газовой смеси, %	Количество токсичных газов из формы	
		кг/т смеси	кг/форму
Моноксид углерода	5,4	0,77	2,67
Фенол	0,3	0,043	0,15
Формальдегид	0,15	0,022	0,075

81. Общие данные по типовым отливкам

Газ	Содержание газа, кг/т							
	Форма				Стержень			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Монооксид углерода	0,77	0,53	0,35	0,35	0,26	0,25	0,45	0,46
Фенол	0,043	0,029	0,019	0,019	0,014	0,014	0,025	0,026
Формальдегид	0,022	0,0145	0,0095	0,0095	0,007	0,007	0,0125	0,013

Анализ показывает средние значения газовыделений, кг/т:

по формам:

монооксид углерода 0,61
 фенол 0,034
 формальдегид 0,017

по стержням:

монооксид углерода..... 0,36
 фенол..... 0,02
 формальдегид 0,01

Число типовых отливок для расчета может быть любым, адекватно отражающим данное производство. По приведенным данным могут быть рассчитаны общие объемы газовой выделений при заданном объеме стержневой и формовочной смесей в единицу времени. Ориентировочно распределение газовой выделений по участкам в первом приближении можно принять следующим, %:

заливка форм металлом – 6...8;

охлаждение залитых форм – 85...90;

выбивка – 2...8.

В рамках данного примера газовой выделение на холодной стадии определяют следующим образом.

При заполнении стержневых ящиков и опок газовой выделение определяют с единицы массы смеси, поступающей из смесителя. По данным

работы [6], для смол фенольного класса, содержащих около 1 % свободного фенола и 0,1...0,2 % свободного формальдегида, газовой выделения составляют соответственно 0,3...0,5 и 0,8...1 мг/кг смеси в час.

При отверждении газовой выделения определяют с единицы открытой поверхности стержня или формы; они составляют: фенол 0,01...0,05; формальдегид 0,05...0,07 мг/дм² в час.

По полученным результатам можно определить валовые газовой выделения на холодной стадии по фактической производительности смесителей и открытой площади одновременно отверждаемых стержней и форм.

Для уточнения расчетов необходимо использовать следующие экспериментальные или расчетные данные:

термогравиметрическую характеристику для применяемой связующей композиции;

поле максимальных температур прогрева стержня и формы для типовых отливок;

содержание токсичных газов в газовой смеси, образующейся при прогреве.

Полученные результаты являются базовыми при проектировании нового производства или реконструкции, проектировании систем местной и общеобменной вентиляции, расчетах и согласовании разрешенных для предприятия предельно допустимых выбросов (ПДВ). После освоения технологического процесса в планируемом объеме должны быть выполнены инструментальные замеры и проведена корректировка расчетных данных.

6.3. СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ ПРОЦЕССА COLD-BOX-AMINE

При производстве связующего для Cold-box-amine-процесса любой производитель должен соблюдать следующие санитарные правила:

СП № 4783–88 "Санитарные правила для производства синтетических полимерных материалов и предприятий по их переработке";

СП 2.2.2.1327–03 "Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственного оборудования и рабочего инструмента", утвержденные Министерством здравоохранения; СНиП 2.04.05–91 "Отопление и кондиционирование. Нормы проектирования".

Связующее при поставке состоит из трех компонентов – фенолформальдегидной смолы, полиизоцианата и третичного амина. В качестве амина 40...50 % предприятий используют триэтиламин (ТЭА), остальные – диметилэтиламин (ДМЭА).

82. Экологические характеристики компонентов связующего

Вещество	ПДК ₃ , мг/м ³	Класс опас- ности	Агрегатное состоя- ние
Фенолоформаль- дегидная смола	–	2	Жидкость
Фенол	0,1	2	
Формальдегид	0,05	2	
Метилендифе- нилдиизоцианат	0,5	2	Газ
Растворитель нефрас	100,0	4	
Третичный амин (три- этиламин)	10,0	3	

В документации компоненты обозначены так: первый – компонент *A*, второй – компонент *B*, третий – компонент *K*.

Связующее этого вида является токсичным продуктом. По степени воздействия на организм человека оно относится ко второму классу опасности по ГОСТ 12.1.007–76.

При производстве и применении связующего возможно выделение в воздух рабочей зоны производственных помещений паров фенола, формальдегида, 4,4-дифенилметандиизоцианата, нефраса, третичного амина.

Токсико-гигиенические характеристики компонентов связующего приведены в табл. 82.

Концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны измеряют по методикам, утвержденным Минздравом РФ:

фенол – МУ № 4767–88. 1988. Вып. 23;

формальдегид – МУ № 4595–88. 1988. Вып. 10;

4,4-дифенилметандиизоцианат – МУ № 1695–77. 1981. Вып. 1–5;

растворитель нефрас – МУ № 3119–84. 1984. Вып. 20;

триэтиламин – МУ № 2911–83. 1983. Вып. 19.

Периодичность контроля обусловлена классом опасности вредного вещества согласно ГОСТ 12.1.007–76 и руководству Р 2.2.755–99 "Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса".

Контроль за содержанием в воздухе рабочей зоны производственных помещений фенола, формальдегида и 4,4-дифенилметандиизоцианата должен осуществляться не реже одного раза в месяц, за содержанием нефраса и триэтиламина – не реже одного раза в квартал.

Отбор проб, промывка, обработка аппаратуры и тары, анализ связующего проводят в соответствии с внутренними правилами по безопасному ведению работ, разработанными изготовителем и потребителем.

Содержание паров вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимой концентрации по ГН 2.2.5.1313–03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны".

Производственные помещения должны быть оборудованы общеобменной приточно-вытяжной и местной вытяжной (от источников сосредоточенных выделений) механической вентиляцией; во вспомогательных помещениях (склады сырья) – общеобменной приточно-вытяжной механической вентиляцией по ГОСТ 12.4.021–75 и СНиП 2.04.05–91.

Для уменьшения степени загрязнения воздуха при использовании связующего в стержневых отделениях устанавливают местную приточно-вытяжную вентиляцию с механическим побуждением над каждой стержневой машиной в соответствии с ГОСТ 12.4.021–75. Помещения для хранения исходных компонентов и готовых стержней должны быть оборудованы механической общеобменной вентиляцией по ГОСТ 12.4.021–75.

Работающие со связующим должны быть обеспечены индивидуальными средствами защиты от попадания продукта на кожные покровы и слизистые оболочки в соответствии с ГОСТ 12.4.011–89 и 12.4.103–83 и типовыми отраслевыми нормами:

костюмом хлопчатобумажным по ГОСТ 12.4.111–82 или 12.4.112–82;

обувью кожаной по ГОСТ 12.4.137–84;

фартуками прорезиненными по ГОСТ 12.4.029–76;

перчатками резиновыми по ГОСТ 20010–93 или перчатками трикотажными по ТУ 17 РСФСР 8336–75;

рукавицами по ГОСТ 12.4.010–75;

очками защитными по ГОСТ 12.4.013–82.

При ингаляционном воздействии необходимо вывести пострадавшего на свежий воздух, обеспечить тепло, покой и вызвать врача. При попадании на кожу компонентов *A* и *B* следует смыть их большим количеством воды с мылом, затем смазать кожу жировыми кремами или пастами по ГОСТ 12.4.068–79; запрещается мыть руки растворителями.

При попадании на кожу компонента *K* проводят смывание его чистой водой, применяют примочки из 2%-ных растворов уксусной, лимонной или борной кислот, при попадании в глаза следует обильно промыть их струей воды, обратиться к врачу, при проглатывании рот необходимо прополоскать водой и обратиться за помощью к врачу.

Обезвреживание одежды, загрязненной компонентами *A* и *K*, проводят механической стиркой с моющими средствами. При загрязнении компонентом *B* одежду вначале выдерживают в течение суток в растворе, содержащем 90 % воды, 8 % технического раствора аммиака стандартной концентрации и 2 % жидкого моющего средства, а затем направляют в стирку.

Компоненты *A* и *B* связующего относятся к числу невзрывоопасных горючих жидкостей, температура вспышки для компонента *A* составляет 70 °С, для компонента *B* 90 °С. Компонент *K* является взрывоопасной горючей жидкостью. Температура вспышки не менее –12 °С, температура самовоспламенения паров в воздухе не менее 510 °С, нижний предел взрываемости в смеси с воздухом не менее 1,5 % (объемная доля); верхний не более 8,0 % (объемная доля).

При транспортировке и хранении применяют знак безопасности "Запрещается пользоваться открытым огнем". Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.004–91, по защите от статического электричества – ГОСТ 12.1.018–93.

Для пожаротушения компонента *A* применяют воздушно-механическую и химическую пену, асбестовое полотно, песок, раствор сульфанола НП; компонента *B* – воздушно-механическую пену или газообразный диоксид углерода (огнетушители ОВП или ОУ); компонента *K* – распыленную воду, порошок ПСБ, диоксид углерода, фреоны и пену.

К работе со связующим допускают лиц, прошедших медицинский осмотр в соответствии с приказом Минздрава РФ, утвержденным в установленном порядке. Все работающие со связующим обязаны проходить как предварительный медосмотр при приеме на работу, так и периодический. Связующее применяют в соответствии с санитарными правилами для литейного производства (заводов, цехов, участков) № 5183–90.

Охрана окружающей среды обеспечивается герметизацией оборудования, коммуникаций, транспортной тары, соблюдением требований безопасности. При применении связующего подача жидких компонентов в смеситель для приготовления песчано-смоляной смеси и выгрузка сме-

си должны осуществляться с помощью вакуума, азотного давления, посредством насосов или другим подходящим способом (за исключением сжатого воздуха), позволяющим исключить попадание вредных веществ в окружающую среду.

Контроль за соблюдением предельно допустимых выбросов в атмосферу осуществляют по ГОСТ 17.2.3.01–86 и 17.2.3.02–78.

При разливе связующего его необходимо засыпать песком, собрать совком, исключая образование искрообразования, и поместить в специальную металлическую емкость для передачи на утилизацию.

Утилизацию связующего осуществляют термическим способом в соответствии с СН № 3183–84. Аналогично уничтожают некондиционный и не нашедший применения продукт.

Содержание загрязняющих веществ (ЗВ) в источниках организованных выбросов не должно превышать нормативов, установленных уровнем ПДВ. Содержание ЗВ в приземном слое с учетом рассеяния не должно превышать ПДК согласно ГН 2.1.6.1338-03.

При образовании отходов их утилизируют термическим способом в соответствии с Федеральным законом РФ от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления" (с изменениями от 29 декабря 2000 г.) и СанПиН 2.1.7.1322-03 "Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления". Аналогично уничтожают некондиционный и не нашедший применения продукт.

Отходы собирают в специальную тару и отправляют на сжигание в цех утилизации промышленных отходов.

Не допускается загрязнение водоемов отходами и остатками связующего.

Транспортировку осуществляют всеми видами транспорта в соответствии с Правилами перевозок грузов, действующими на каждом виде транспорта. Компонент *A* хранят в крытых складских помещениях при температуре $-5...+30$ °С, предохраняя от попадания влаги и местного нагрева, компонент *B* хранят в крытых отапливаемых складских помещениях при температуре $10...30$ °С, предохраняя от попадания влаги и местного нагрева, компонент *K* хранят в крытых складских помещениях для легковоспламеняющихся жидкостей при температуре до 40 °С, предохраняя от попадания влаги и местного нагрева.

Как и для других видов связующих, за последние несколько десятков лет произошла значительная эволюция экологически важных показателей для Cold-box-amine-процесса связующей композиции (табл. 83).

83. Характеристики связующего фирмы Ashland для процесса Cold-box-amine

Характеристика	Годы		
	1968	1975	1996–2000
Содержание компонентов <i>A</i> и <i>B</i> , мас.ч.	1,2...1,2	0,7...0,7	0,6...0,6
Содержание свободных мономеров, %:			
фенола	6...8	6	< 3
формальдегида	2	2,4	< 0,2

Существует несколько направлений разработки связующих и процессов в целях снижения газовыделений:

 снижение содержания мономеров – свободных фенола и формальдегида на стадии синтеза смолы;

 замена высококипящих ароматических углеводородов растворителями на растительной основе, в частности метиловыми эфирами растительных масел;

 повышение удельной связующей способности для снижения содержания связующего и, соответственно, общего эмиссионного потенциала;

 соблюдение температурных условий при смешивании и изготовлении стержней или форм;

 оптимизация соотношений смесь – металл, работа с минимизированной рецептурой;

 применение высококачественных наполнителей и регенерата;

 внедрение оболочковых и пустотелых стержней;

 применение водных красок;

 разработка и внедрение новых неорганических связующих.

Состав газовых смесей, выделяющихся на горячей стадии, изменяется с температурой прогрева смеси. В качественном отношении некоторые авторы приводят следующий примерный перечень токсичных компонентов газовой смеси: формальдегид, фенол, бензол, пары растворителей, оксид углерода, изоцианат. Закономерности выделения газовой смеси при нагреве полиуретановой композиции до температуры 950 °С показаны на рис. 45.

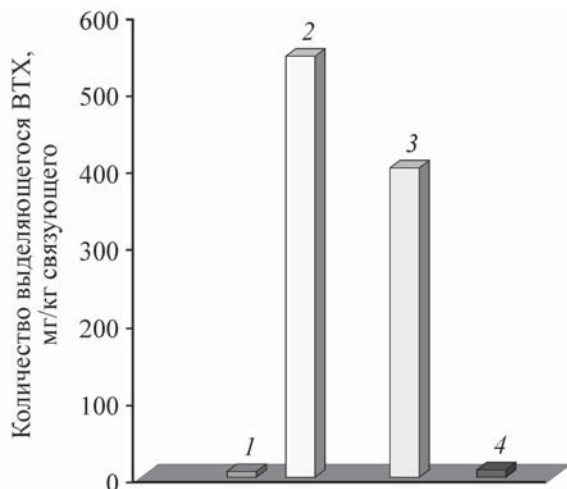


Рис. 45. Выделение ВТХ из ХТС при нагреве до 950 °С:

1 – Isocure-толуол; 2 – Ecosure-толуол; 3 – Isocure-бензол; 4 – Ecosure-бензол

В табл. 84 приведены результаты замеров, выполненные для проектирования вентиляции.

В рекламных публикациях зарубежных производителей уровень эмиссии на горячей стадии оценивают по суммарному выделению трех выделяющихся при нагреве токсичных веществ: бензола, толуола и ксилола. Этот показатель обозначают термином "ВТХ". Изменение уровня ВТХ при использовании смесей с различными растворителями связующей композиции показано на рис. 45. Принята следующая методика его определения.

Образец смеси массой около 20 г измельчают до кусочков размером 1 мм и загружают в кварцевую трубку диаметром 1,5 см, закрытую с одной стороны. Далее пропускают газ-носитель с пониженным содержанием кислорода (10 % O₂) и повышенным содержанием углекислого газа (10 % CO₂) (остальное азот), затем проводят внезапный нагрев до 950 °С и выдерживают 60 мин. Образовавшиеся газы вместе с носителем пропускают через активный уголь, на котором адсорбируются ВТХ. Активный уголь вместе с дисульфидом углерода экстрагируют и определяют концентрацию остаточного ВТХ.

84. Экспериментальные данные по скорости эмиссии на горячей стадии, мг газа / 1 г связующего

Время, мин	Формальдегид	Изоцианат	Фенол	Ароматические углеводороды
0...15	0,016	0,028	1,58	2,22
16...30	0,015	0,044	3,19	4,68
31...45	0,010	0,069	3,89	5,65
46...60	0,010	0,054	3,08	4,67

При поставке компонентов связующего от зарубежных производителей отдельные партии материала или весь объем по контракту сопровождаются сертификатом безопасности. В него входят следующие разделы: название и область применения материала, производитель, реквизиты для экстренной связи;

информация об ингредиентах;

указания об опасных влияниях на человека;

правила оказания первой помощи;

способы борьбы при возгорании;

средства защиты персонала и окружающей среды;

обращение и хранение;

персональная защита;

физико-химические свойства при 20...25 °С (цвет, запах, температура кипения и вспышки, плотность, растворимость в воде, pH, вязкость, срок хранения);

токсикологическая и экологическая информация;

утилизация и удаление;

транспортная информация;

регламентирующая информация (символы, описание риска, описание мер безопасности и др.).

В российских технических условиях или стандартах на подобные материалы также приводят большую часть указанных сведений. Поэтому информация от зарубежного поставщика с точки зрения безопасности приемлема для производства. Однако для входного контроля целесообразно дополнительно запрашивать информацию о технологических свойствах с указанием методов испытаний.

6.4. ЭПОКСИ-АКРИЛАТНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ ЕРОХУ-SO₂-ПРОЦЕССА

Связующее представляет собой композицию, состоящую из двух компонентов, условно обозначенных как компонент *A* – смесь эпоксидно-диановой смолы и полифункционального акрилата и компонент *B* – смесь эпоксидно-диановой смолы и окислителя. Связующее отверждается газобразным сернистым ангидридом SO₂.

По степени воздействия на организм человека связующее относится ко второму классу. Его токсикологические характеристики приведены в табл. 85.

Контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005–85. Концентрации вредных веществ в воздухе измеряют по утвержденным методикам:

- эпихлоргидрин – МУ № 4533–87, 1987. Вып. 22;
- дифенилолпропан – МУ № 1655–77, 1977. Вып. 1–5;
- акриловую кислоту – МУ № 2565–82, 1982. Вып. 2;
- гидропероксид изопропилбензола – МУ №4568–88. 1988. Вып. 10;
- толуол – МУ №4571–88, 1988. Вып. 10;
- триметилолпропан – МУ №1692–77. 1977. Вып. 1–5.

85. Характеристики вредных компонентов связующего

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Эпихлоргидрин	1	2	Газ, аэрозоль
Дифенилолпропан	5	3	Газ
Акриловая кислота	5	3	
Гидропероксид изопропилбензола	1	2	
Толуол	150	3	
Триметилолпропан	50	4	

Все операции по работе со связующим проводят в помещениях, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией в соответствии с ГОСТ 12.4.021–75, вентиляция должна быть установлена над каждой стержневой машиной и в помещениях для хранения компонентов.

Работающие со связующим должны быть обеспечены индивидуальными средствами защиты от попадания его на кожные покровы и слизистые оболочки:

костюмом хлопчатобумажным по ГОСТ 12.4.111–82 или 12.4.112–82;

обувью кожаной по ГОСТ 12.4.137–84;

фартуками прорезиненными по ГОСТ 12.4.029–76;

перчатками резиновыми по ГОСТ 20010–93 или трикотажными по ТУ 17 РСФСР 8336–75;

рукавицами по ГОСТ 12.4.010–75;

очками защитными по ГОСТ 12.4.013–82.

При поражении работающих вредными веществами путем ингаляционного воздействия следует вывести пострадавшего на свежий воздух, обеспечить тепло, покой, вызвать врача. При их попадании на кожу надо смыть эти вещества большим количеством воды с мылом, затем смазать кожу жировыми кремами или пастами, нельзя мыть руки растворителями. При попадании в глаза необходимо обильно промыть их струей воды, обратиться к врачу. При проглатывании нужно прополоскать рот водой, вызвать врача. Загрязненную одежду обезвреживают механической стиркой с моющими средствами.

Компоненты *A* и *B* относятся к числу невзрывоопасных горючих жидкостей. Температура вспышки в открытом тигле для компонента *A* составляет не менее 210 °С, для компонента *B* не менее 125 °С. Температура вспышки в закрытом тигле для компонента *A* не менее 150 °С, для компонента *B* не менее 90 °С.

При транспортировке и хранении связующего обязательно применять знак безопасности "Запрещается пользоваться открытым огнем". Средства пожаротушения – асбестовое полотно, песок, воздушно-механическая пена, диоксид углерода (огнетушители ОВП или ОУ), порошок ПСБ-3.

При разливе связующего его необходимо засыпать песком, собрать совком и передать в специальную металлическую емкость для утилизации. Утилизацию осуществляют термическим способом по СН № 3183–84. Аналогично уничтожают некондиционный и не нашедший применения продукт.

**86. Экспериментальные данные по составу и скорости
газовыделения на горячей стадии при Ероху-SO₂-процессе,
мг газа/1 г связующего**

Время, мин	Акриловая кислота	Гидроэтил- акрилат	Фенол	SO ₂	Ароматические углеводороды
0...15	0,33	0,25	2,45	0,15	7,8
16...30	0,47	0,27	3,36	0,13	7,5
31...45	0,34	0,27	4,35	0,18	6,5
46...60	0,37	0,30	4,01	0,08	5,0

Для уничтожения гидропероксида изопропилбензола, содержащегося в компоненте В, последний разбавляют легковоспламеняющейся жидкостью (жидким углеводородом, ацетоном), не содержащей растворенных минеральных кислот, щелочей, в объемном соотношении не менее 1:2.

Допустимо сжигать не более 500 кг компонента В. Сжигание проводят в печи любой марки, предназначенной для сжигания отходов химических производств, в соответствии с требованиями СН № 3183–84. Защита окружающей среды должна быть обеспечена тщательной герметизацией оборудования и тары.

Для приготовления песчано-смоляной смеси подачу связующего в смеситель осуществляют с помощью вакуума, азотного давления, посредством насосов или другим способом, позволяющим исключить попадание вредных веществ в воздух. Связующее применяют в соответствии с санитарными правилами для литейного производства (заводов, цехов, участков) № 5183–90.

Для оценки состава и объема выделений вредных веществ на горячей стадии можно использовать данные табл. 86.

**6.5. ФЕНОЛЬНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ ПРОЦЕССА
RESOL-CO₂**

В России фирмы, производящие это связующее, включают исходные материалы по экологии, как и для компонентов других ХТС, в технические условия. Данное связующее является токсичным продуктом, по степени воздействия на организм человека оно относится ко второму классу опасности. Соответствующие характеристики приведены в табл. 87.

87. Характеристики вредных веществ связующего для процесса Resol-CO₂

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Фенолоформальдегидная смола	Устанавливается по фенолу и формальдегиду	2	Жидкость
Фенол	0,1	2	Газ
Формальдегид	0,05	2	

Содержание свободного фенола в связующем составляет менее 0,1 %, свободного формальдегида менее 0,1...0,2 %. Их концентрации в воздухе рабочей зоны определяют по методикам, изложенным выше.

Все операции по работе со связующим проводят в помещениях, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией в соответствии с ГОСТ 12.4.021–75; вентиляция должна быть установлена над каждой стержневой машиной и в помещениях для хранения компонентов.

Работающие со связующим должны быть обеспечены индивидуальными средствами защиты от попадания его на кожные покровы и слизистые оболочки:

костюмом хлопчатобумажным по ГОСТ 12.4.111–82 или 12.4.112–82;

обувью кожаной по ГОСТ 12.4.137–84;

фартуками прорезиненными по ГОСТ 12.4.029–76;

перчатками резиновыми по ГОСТ 20010–93 или трикотажными по ТУ 17 РСФСР 8336–75;

рукавицами по ГОСТ 12.4.010–75;

очками защитными по ГОСТ 12.4.013–82.

Необходимо: при ингаляционном воздействии на рабочих вредных веществ вывести пострадавших на свежий воздух, обеспечить тепло, покой, вызвать врача; при попадании на кожу смыть их большим количеством воды с мылом, смазать кожу ожиряющими кремами или пастами, не мыть руки растворителями; при попадании в глаза обильно промыть их струей воды, обратиться к врачу; при проглатывании рот прополоскать водой, вызвать врача. Загрязненную одежду следует обезвреживать механической стиркой с моющими средствами.

При разливе связующего его необходимо засыпать песком, собрать совком и передать в специальную металлическую емкость для утилизации. Утилизацию осуществляют термическим способом по СН № 3183–84. Аналогично уничтожают некондиционный и не нашедший применения продукт. Связующее применяют в соответствии с санитарными правилами для литейного производства (заводов, цехов, участков) № 5183–90.

Связующее относится к числу невзрывоопасных горючих жидкостей. Температура вспышки не менее 70 °С. При транспортировке и хранении обязательно применять знак безопасности "Запрещается пользоваться открытым огнем". Средства пожаротушения – асбестовое полотно, песок, воздушно-механическая пена, диоксид углерода (огнетушители ОВП или ОУ), вода.

Подачу связующего в смеситель при приготовлении песчано-смоляной смеси осуществляют с помощью вакуума, азотного давления, посредством насосов или другим способом, позволяющим исключить попадание вредных веществ в воздух.

Необходимо организовать инвентаризацию источников организованных выбросов в атмосферу, разработку уровня ПДВ, контроль за содержанием загрязняющих веществ в ventвыбросах и санитарно-защитной зоне (СЗЗ) предприятия. ПДВ в СЗЗ не должно превышать ПДК согласно ГН 2.1.6.695–98 "Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест".

6.6. ФЕНОЛ В ОТВАЛАХ ХТС

Что касается влияния на окружающую среду отвалов формовочных и стержневых смесей, то в специальной литературе обсуждается преимущественно проблема наличия в них фенола и его перехода в природные воды [7]. Отмечается, что фенол, как сам по себе, так и продукты его разложения, не является высокотоксичным продуктом. Допустимая концентрация его в питьевой воде составляет 10^{-7} %.

В отработанных смесях фенолы образуются в результате деструкции и превращений органических связующих на горячей стадии (табл. 88).

Низкое соотношение смесь:металл и низкое значение ППП регенерата от ХТС снижают уровень содержания фенола в отвалах.

Содержание фенола в отвалах различных производств может значительно отличаться.

Количественные результаты определения фенола показали, что влияние его на загрязнение окружающей среды неопасно. Кроме того, под влиянием микроорганизмов фенол биоразлагается в природе на безо-

88. Результаты промывки отвалов смесей от стержней и форм

Параметр	Вид связующего			
	Фенольная смола с сульфокислотой	Феноло-изоцианатное связующее	Фурановая смола с H_3PO_4	Феноло-фурановая смола с H_3PO_4
Условия	Стержни			
Вымываемый фенол, ppm	0,03...0,10	0,70...0,75	0,10...0,12	0,49...0,51
pH промывных вод	6,97	5,93...7,58	4,7...4,8	4,0...4,1

Примечание. pH определяли перемешиванием 100 г смеси в 1600 мл воды в течение 15 мин.

пасные продукты. Биоразложение может происходить в аэробных и неаэробных условиях.

В течение 100 дней на поверхности водоемов фенол разлагается на 95...100 %.

Таким образом, выделение фенола из отвалов можно считать неопасным из-за незначительного общего количества. Например, в США общее количество формовочных и стержневых смесей составляло около 10 000 т/год, выделение фенолов из этого количества составляет около 40 т. Это немного по сравнению с другими источниками фенола и не более опасно, чем фенол, вымываемый из бытовых отходов. Поэтому содержание фенола в отвалах литейных цехов в международной практике не регламентируется.

Глава 7

ПРОТИВОПРИГАРНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Противопригарные покрытия (краски) для стержней и форм из ХТС должны обладать комплексом свойств, общих для всех основных покрытий, применяемых в литейном производстве.

В табл. 89 приведены характеристики красок крупнейшего европейского производителя – немецкой фирмы Huttene-Albertus.

89. Противопригарные краски фирмы Huttene-Albertus

Сплав	Марка краски	Растворитель	Огнеупор	Способ окраски	
				Кисть, погружение	Полив
Краски для смесей типа No-bake					
Сталь, СЧ, ВЧ, ЦС	Zirkofluid 1219	Спирт	Циркон	Да	Нет
СЧ, ВЧ, ЦС	Arkofluid 4889	Спирт	Алюмосиликат, оксид железа	Да	Да
СЧ, ВЧ, ЦС	Koalid 1170	Спирт	Тальк, графит	Да	Да
СЧ, ВЧ, ЦС	Arkopal 5080	Вода	Алюмосиликат, циркон, оксид железа	Да	Нет
СЧ, ВЧ, ЦС	Arkopal 5595	Вода	Алюмосиликат, оксид железа, графит	Да	Нет

Окончание табл. 89

Сплав	Марка краски	Растворитель	Огнеупор	Способ окраски	
				Кисть, погружение	Полив
Краски для стержней отливок для автомобилестроения					
СЧ, ВЧ, ЦС	Arkopal 5543	Вода	Алюмосиликат, оксид железа	Да	Нет
	Arkopal 3113	Вода	Алюмосиликат, циркон, графит	Да	Да
	Arkofix 1298	Спирт	Алюмосиликат, графит	Да	Нет
	Koalid 4087	Спирт	Алюмосиликат, оксид железа	Да	Да
Краски для процесса Cold-box-amine					
СЧ, ВЧ, ЦС	Koalid 1170	Спирт	Тальк	Да	Да
	Koalid 4087	Спирт	Алюмосиликат, оксид железа	Да	Да
	Arkopal 5239	Вода	Алюмосиликат, оксид железа	Да	Нет
	Arkopal 5053	Вода	Алюмосиликат	Да	Да
Краски для смесей No-bake с жидким стеклом					
Сталь, СЧ, ВЧ, ЦС	Zirkofluid 1219	Спирт	Циркон	Да	Нет
СЧ, ВЧ, ЦС	Arkofluid 5004	Спирт	Алюмосиликат, оксид железа, графит	Да	Да

Примечание. СЧ – средний чугун; ВЧ – высокопрочный чугун; ЦС – цветные сплавы.

Практически все фирмы–производители литейных материалов выпускают водные и спиртовые противопригарные покрытия на базе различных огнеупоров и связующих. Для примера ниже приведен перевод подлинных фирменных описаний для покрытий фирм SP Minerals (Финляндия) и Fosco (Великобритания).

Краска "PV COATING 141" (SP Minerals). Графитовая краска на спиртовой основе является простой в использовании для стержней и форм из всех традиционных типов формовочных материалов, применяется для покрытия форм и стержней для всех традиционных способов изготовления отливок.

Краска обладает хорошей адгезией и обеспечивает однородную гладкую поверхность формы и стержня. Она имеет хорошие термические качества и пригодна для отливок из серого и высокопрочного чугунов, а также цветных легких и тяжелых сплавов, может наноситься погружением, распылением или окраской кистью.

Технические параметры:

представляет собой взвесь графита в изопропаноле;

цвет черный;

запах спирта;

содержание сухого вещества: 57 % графита;

связующее 2 %;

добавки 0,4 %;

плотность $(1,2 \pm 0,2)$ кг/л.

Для получения хорошего результата перед применением покрытие следует тщательно перемешать до получения гомогенной структуры. Для этого лучше использовать механические мешалки.

Оптимальная вязкость должна быть определена практически в зависимости от размера стержня, формы.

Необходимо тщательно сушить краску факелом или горячим воздухом. Возможна также воздушная сушка краски при комнатной температуре, но в течение длительного времени. Для сушки в горячем воздухе формы следует выдерживать около 30 мин при температуре 180 °С. Время сушки факелом составляет около 2 мин, огонь должен быть равномерным снизу.

Краска поставляется в 60-литровых пластиковых или 200-литровых металлических бочках. Рекомендуемая температура хранения в плотно закрытой бочке 5...20 °С.

Краска RHEOTEC 213 (Foseco). Водная противопопригарная краска на основе талька и кокса. Применяется для окрашивания стержней при производстве отливок для автомобильной промышленности, а также для получения высокогерметичных отливок.

Особенность краски – отличная обрабатываемость, совместимость с силиконовым разделительным составом (следы от которого остаются на поверхности стержня), высокая седиментационная устойчивость.

Технические параметры:

цвет – темно-зеленый;

плотность при 20 °С – 1,4...1,5 г/см³;

после разбавления водой получаем по ареометру Baume, °Be, при окрашивании:

погружением 30...40

кистью 60...80

распылением 20...40

заливкой 20...40

Примерный режим тепловой сушки 30...60 мин при 100...200 °С.

Срок годности 3 мес.

Приведен также перечень правил по безопасности труда и экологии.

Информация об отечественных противопопригарных покрытиях достаточно полно изложена в работе [3].

При использовании ХТС чаще возникает потребность в применении самовысыхающих покрытий, называемых часто в литературе и инструктивных материалах спиртовыми. В современной практике в них жидкой фазой обычно являются спирты, легкоиспаряющиеся или в некоторых случаях поджигаемые. В массовом производстве при поточной конвейерной организации в большинстве случаев применяют водные краски с подсушкой или окраску горячих стержней сразу после извлечения из оснастки. При других условиях для ХТС удобнее всего спиртовые краски, которые высыхают на воздухе или при поджигании; сушильное оборудование при этом полностью исключается.

Ниже рассмотрим специфические проблемы, которые решают с помощью покрытий. Речь идет о пенетрации металла, просечках, насыщении отливок серой и фосфором, их пористости и др. Чтобы предупредить

подобные дефекты, нужно грамотно выбрать огнеупорный наполнитель краски (огнеупор). Его свойства: температуру плавления, гранулометрию, форму зерен, теплопроводность, термическое расширение и химическую реактивность – оценивают с точки зрения устранения дефектов.

Характеристика заливаемого металла. Важна температура заливки, по которой оценивают огнеупор. Характеристики затвердевания металла определяют, как долго покрытие должно обеспечивать защиту. Необходимо учитывать и химическую активность сплава. Например, кварцевые огнеупоры не следует применять для красок при работе с марганцовистыми сталями.

Метод нанесения покрытия на стержень или форму. Предполагаемый метод нанесения покрытия влияет на характер нанесения и формирование слоя покрытия. Принимают во внимание возможность образования капель и потеков. Оптимальные плотность и вязкость позволяют исключить эти дефекты.

Специфические параметры. Если выбрано многослойное покрытие, нужно менять цвет слоев. Может потребоваться длительная выдержка с целью полной сушки перед заливкой или повышенная горячая прочность (защита от растрескивания). Нет необходимости хранить специальные покрытия для каждой группы отливок в одном цехе. Следует расценить имеющуюся номенклатуру в зависимости от склонности к дефектам и стоимости их исправления.

Выбор покрытия при проектировании или внедрении технологического процесса основан на технических, экономических и экологических факторах. При этом в первую очередь принимают во внимание следующие из них:

- высокую температуру плавления огнеупорного наполнителя, чтобы защищать от тепловой нагрузки и гарантировать при выбивке полное отделение формовочной смеси от металла;

- хорошее сцепление со смесью, термическое расширение покрытия, близкое к термическому расширению смеси;

- хорошую кроющую способность, соответственно низкое поверхностное натяжение жидкой фазы;

- высокое сопротивление проникновению металла и его оксидов (пенетрации);

- высокое сопротивление эрозии при динамическом взаимодействии с расплавом;

ограниченное выделение газообразных веществ (компонентов покрытия или продуктов их деструкции при высоких температурах);

высокое сопротивление оседанию огнеупорного наполнителя при хранении и отсутствии перемешивания;

высокую способность к тиксотропии, при которой после оседания краску можно быстро восстановить;

отсутствие капель и потеков при окраске, оставляющих следы на поверхности стержня или формы;

отсутствие или минимальный уровень бактериологической деградации при хранении;

химическую и термодинамическую совместимость с заливаемым металлом;

минимальное влияние на экологическую ситуацию в зоне окраски и в других рабочих зонах при высыхании или тепловой сушке, хранении окрашенных стержней и форм;

тип металла и его перегрев;

толщину стенок отливки;

металлостатическое давление в форме;

приемлемое оборудование для перемешивания;

метод применения и оборудование для нанесения покрытия;

приемлемое оборудование для сушки;

условия хранения;

требования по безопасности (эмиссия и т.д.);

наполнитель смеси и его гранулометрию;

связующую систему смеси;

цвет покрытия;

теплопроводность;

проницаемость.

Основные компоненты противопопригарных покрытий – это огнеупорный наполнитель, растворитель, суспензирующее вещество, специальные добавки.

Огнеупорный наполнитель. В табл. 90 приведены важнейшие характеристики применяемых для покрытий огнеупорных наполнителей, а в табл. 91 – дополнительные сведения о них.

90. Физические характеристики огнеупорных наполнителей

Наполнитель	Температура плавления, °С	Твердость по Моосу	Плотность, г/см ³	Химическая реакция	Термостабильность	Теплопроводность	Расширение при 1370 °С, %
Слюда	1260	2,5	2,9	Нейтральная	Низкая	Низкая	–
Тальк	1350	1,0	2,8	Нейтральная	Низкая	Низкая	–
Оливин	1400	6,5... 7	3,3... 3,6	Основная	Средне-высокая	Средняя	0,8
Кварц	1700	6...6,5	2,2... 2,4	Кислая	Хорошая	Низкая	1,8
Глинозем	2020	6,0	3,5	Кислая	Высокая	Средняя	0,7
Хромит	2170	5,5	4,3... 4,5	Слабосредняя	Весьма высокая	Высокая	0,5
Силикат циркония	2200	7,5	4,4... 4,7	Слабокислая	Весьма высокая	Средняя	0,3
Магнетит	2790	6,0	3,0	Основная	Средне-высокая	Средняя	0,3
Графит	2980	1	2,3	Нейтральная	Низкая	Высокая	–

91. Дополнительные сведения об огнеупорных наполнителях

Наполнитель	Основное соединение	Содержание свободного Si, %
Слюда	Калий, алюмосиликат	1
Тальк	Водный магнезит, силикат	2...5
Кокс	Углерод, силикаты	1...2
Графит	Углерод	1
Кварц	Диоксид кремния	99
Оливин	Силикат магния, железа	< 2
Пиррофиллит	Водный алюмосиликат	40...50
Муллит (кианит)	Алюмосиликат	5...8
Боксит	Высокоалюминатный огнеупор	0
Глинозем	Оксид алюминия	< 1
Циркон	Силикат циркония	< 1
Магнезит	Оксид магния	< 1

По стоимости огнеупорные наполнители можно расположить в следующий возрастающий ряд:

- кварц;
- кокс, тальк, керамика;
- оливин, муллит (кианит);
- боксит;
- слюда;
- аморфный графит;
- магнезит;
- оксид алюминия (корунд);
- кристаллический графит;
- циркон.

Общие рекомендации по применению отдельных видов огнеупорных наполнителей в зависимости от вида сплава и преобладающей толщины стенок отливок приведены в табл. 92.

92. Рекомендации по применению огнеупорных наполнителей

Сплав	Толщина стенок отливок	Наполнитель
Алюминий	Любая	Слюда, керамика, графит
Медные сплавы	Любая	Графит, циркон
Высокопрочный чугун	Средняя	Кварц, оливин, муллит, графит, керамика, боксит, тальк-магнезит
	Большая	Муллит, циркон, магнезит, корунд, боксит
Серый чугун	Любая	Кокс, графит, циркон, муллит
Углеродистая сталь		Кварц, муллит, циркон, корунд, боксит
Коррозионно-стойкая сталь		Боксит, циркон, корунд
Марганцовистая сталь		Оливин, магнезит, глинозем (корунд)

Для выбора наполнителя важны размер и форма его частиц, термическое расширение, химическая реактивность, теплопроводность, плотность.

Если размер частиц наполнителя меньше размера пор в смеси, краска поглощается смесью и оставляет поверхность недостаточно покрытой. Очень мелкие частицы могут быть причиной растрескивания покрытия при сушке. Эта проблема решается добавкой более крупных частиц. Возникновение подобных проблем зависит также от связующего и суспензирующей добавки.

Чем выше температура металла, тем более огнеупорным должен быть материал.

Наполнитель должен быть химически инертным к металлу. Например, кислые материалы, такие как глинозем или кварц, не сочетаются с основным расплавом, таким как марганцовистая сталь.

Формы испаряющегося с различной скоростью углерода создают восстановительную атмосферу в порах, что облегчает очистку и увеличивает жидкотекучесть металла.

Плотность наполнителя влияет на свойства суспензии, в частности на седиментацию.

Наполнители можно смешивать в различных пропорциях. При их выборе имеет значение охрана труда, например вероятно вдыхание пылевидного кварца.

Чистота наполнителя влияет на поведение краски. Наличие хромита может снижать огнеупорность других материалов. Химия и гранулометрия наполнителя также учитываются при отработке состава.

Растворитель. При разработке или подборе характеристик поставляемой краски выбор растворителя является чрезвычайно важным, так как это связано с возможностями его сушки или самовысыхания (испарения) в данном производстве.

При этом принимают во внимание следующие факторы:

сочетаемость со связующим и наполнителем;

метод подсушки и необходимое оборудование;

температуру воспламенения;

влияние на пригар;

токсичность, установленное ПДК;

запах;

метод нанесения краски (погружение, пульверизатор, кисть, тампон, полив);

стоимость;

правила техники безопасности.

В мировой практике наиболее распространенными в настоящее время растворителями являются вода и изопропиловый спирт. Реже применяют этанол, метанол, керосин. Структура применения красок с соответствующими растворителями в Германии выглядит следующим образом: 63 % – водные краски; 35 % – спиртовые; 2 % – порошкообразные. В России для самовысыхающих красок длительное время применяли и применяют сейчас воду, растворитель антипригарных красок АПК, растворитель 646, ацетон, бензин, этанол.

К недостаткам воды и, соответственно, водных красок относятся:

потребность в сушильном оборудовании;

трудности сушки при наличии отверстий, пазов, углублений и т.п.;

высокие трудозатраты при сушке;

снижение прочности смеси после окраски при процессах Rep-set, Cold-box-amine, смесях с жидким стеклом;

опасность повреждения стержней;
высокие затраты на создание и эксплуатацию сушильного оборудования.

Так как для воды требуется длительное время сушки, то чем меньше ее в краске, тем лучше. Эти краски легко разжижаются, несмотря на высокую плотность. Они образуют тонкую защитную пленку и поэтому быстрее высыхают. Жесткость и рН воды выбирают таким образом, чтобы они не мешали действию добавок, оптимизирующих характеристики суспензии.

Разные фирмы–производители красок применяют воду, спирты, хлорированные углеводороды. Нефтяные углеводороды, например керосин, иногда применяют, чтобы снизить давление и стоимость покрытий. К группе спиртов относятся 91- или 99%-ный изопропиловый спирт, метанол, 1,1,1-трихлорэтан.

Изопропиловый спирт имеет существенные преимущества: высокую воспламеняемость, приемлемую температуру вспышки 11,5...16 °С, умеренную токсичность (ПДК 10 мг/м³), умеренную скорость испарения, отсутствие дыма при заливке, невысокую стоимость.

Обычно рекомендуют применять 99%-ный спирт, поскольку при меньших концентрациях краска может оседать. Взаимодействие краски со смесью с точки зрения возможного разупрочнения целесообразно проверять опытным путем перед употреблением суспензирующего агента и связующего, колебания рН меняют вязкость. Пенообразование, сушка, порча, пенетрация, смачивание – это также проблемы, которые приходится решать на практике.

Изопропиловый спирт горит медленно и при умеренной температуре, что исключает возможности перегрева поверхности смеси и обгорания связующего и химических добавок. Медленное горение также способствует дополнительному отверждению связующего. Однако низкая температура воспламенения (менее 38 °С) может вызвать проблемы, связанные с хранением и применением.

Преимущества красок с изопропиловым спиртом:

- быстрое высыхание на воздухе;
- хорошее смачивание смесей;
- хорошее проникновение в смесь;
- снижение гигроскопичности при хранении стержней;
- выделение теплоты и соответствующее ускорение затвердевания при технологиях No-bake;

снижение трудозатрат;
высокая производительность;
отсутствие потребности в сушильном оборудовании.

Недостатки красок этого типа:

возможность возгорания;
токсичность;
возможность вспучивания покрытия;

опасность разупрочнения стержня или формы при горении растворителя или при избыточном его проникновении в смесь.

Связующие могут быть органическими и неорганическими, водорастворимыми и спирторастворимыми. Из числа неорганических связующих применяют чаще всего бентонит, особенно для высокотемпературных условий. Бентониты содержат хорошо связанные, легко набухающие частицы. Это увеличивает их поверхность, и поэтому есть возможность взаимодействовать с большим количеством огнеупорных частиц.

Органические связующие полимерного типа, модифицированные декстрином, полисахаридами, силикатами применяют для водных покрытий, так как они не удерживают воду. Для этих покрытий применяют также декстрины, сульфитный щелок, эфиры ненасыщенных жирных кислот, например льняное масло. Используют также жидкое стекло, которое во избежание растрескивания при сушке модифицируют органическими связующими.

Связующими в спиртовых красках могут быть акрилаты, синтетические смолы. В современных связующих применяют латексы для улучшения связующих свойств при низких и высоких температурах. В спирторастворимых покрытиях применяют смолы и синтетические смолы для связывания при низких и высоких температурах. Для связывания при высокой температуре применяют органобентонит.

Связующее должно обеспечивать высокую твердость покрытия, эластичность, соответствующую расширению смеси, не приводить к возникновению газовой пористости в отливке, при сушке пламенем не вспучиваться. Содержание связующего в краске определяется размером частиц, количеством и скоростью газовой выделением из него.

Суспензирующие агенты помогают удерживать частицы в суспензии, препятствуя седиментации, слипанию частиц при хранении, перевозке, возможности длительной работы при стабильной вязкости, дают хорошие тиксотропные свойства. В водных красках чаще всего используют бентонит, так как он является хорошим огнеупором и помогает об-

разовывать объемный гель и удерживать большое количество огнеупорного наполнителя в виде стабильной суспензии. Для этих целей применяют также полисахариды, целлюлозу, альгинаты, полимеры, резиноподобные клеи. Для спиртовых покрытий используют органобентонит и аттапульгит. Независимо от типа агента он эффективен при концентрации менее 3 %, в том числе при вибрации тары и длительном хранении.

Антисептики вводят во избежание ферментации и брожения красок. Они необходимы для покрытий, содержащих крахмалит, декстрин, лигносульфонаты. Антисептиками являются формалин (40%-ный раствор формальдегида), сернокислая медь, борная кислота.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) вводят для улучшения смачивания формовочной смеси жидкой фазой покрытия, понижения вязкости, в специальных случаях (например, для так называемых проникающих красок) для лучшего проникновения покрытия в поры поверхностного слоя смеси. В России применяют сульфол, технические лигносульфонаты и др. В составе покрытий возможно также применение антипенинаторов и других специальных добавок.

К свойствам покрытий, их отдельных компонентов предъявляют ряд специальных требований. Например, нужно иметь в виду, что углеродистые материалы могут карбюризировать поверхностный слой стальных отливок, а кварц не должен применяться с марганцовистой сталью. Графит в дополнение к его огнеупорным свойствам может смешиваться с другими огнеупорами (например, кварцем), чтобы облегчить отделение отливки от смеси.

Хорошая водная краска, пока не нанесена, похожа на полужидкий гель, способный к обработке большой поверхности и к длительному хранению. При приложении нагрузки (сжатый воздух из пульверизатора, кисть) она должна быть достаточно жидкой. Оба метода передают кинетическую энергию жидким частицам. Эта энергия тем меньше, чем выше тиксотропия краски. Следовательно, тиксотропная краска содержит мало воды, но имеет высокую текучесть при нанесении. Она не образует подтеков, капель, не оставляет следов, препятствует глубокому проникновению покрытия в смесь, что сокращает время высыхания.

Капли имеют взаимное притяжение и стремятся к образованию сфер – для сферической формы требуется минимальная свободная энергия, которая определяется поверхностным натяжением. Это свойство меняется при введении ПАВ. При этом улучшается растекание краски, что дает следующие преимущества:

снижение толщины покрытия;

хорошее высыхание;
повышение точности отливок благодаря малой толщине краски и незначительному ее скоплению в углах полости формы;
малую продолжительность сушки.

Оптимальной формой поставки покрытия является суспензия, а не паста. Суспензии более однородны и в отличие от паст или порошков не требуют интенсивного перемешивания или взбалтывания, необходимы лишь разбавление и незначительное перемешивание. Пасты менее однородны, расслаиваются, их трудно перемешивать, иногда нужно подогревать. Порошки менее дороги, но требуют интенсивного, а иногда длительного перемешивания. Существуют различные варианты нанесения красок:

- кистью или помазком;
- погружением;
- поливкой;
- напылением;
- воздухом под высоким давлением;
- воздухом под низким давлением;
- безвоздушным напылением;
- электростатическим методом.

Каждый метод требует специфических характеристик покрытия. При погружении не должно быть потеков или капель, при окраске кистью не должно оставаться следов. Краску, разработанную для погружения, не применяют при окраске кистью. Краска для напыления не должна засыхать в период движения между соплом и поверхностью смеси. Последнее относится и к спиртовым краскам.

Краска должна обладать прочной связью с поверхностью смеси без гидравлического или механического усилия, как при окраске кистью. Краска для безвоздушного нанесения имеет очень мелкие частицы наполнителя, чтобы проходить через тонкое сопло. Краски должны обладать высокой стабильностью, не образовывать осадка при хранении и движении через клапаны.

Покрытия различают по методу упрочнения (пленкообразования). Водные покрытия требуют сушки в печи или горелкой с применением сжатого воздуха. Можно подвяливать краску на воздухе, но результат будет плохим: сушка будет идти медленно и некачественно.

Спиртовые покрытия содержат горючие растворители. Их горючесть и токсичность могут быть препятствием для применения. Относительно дешев и малотоксичен изопропиловый спирт, он наиболее попу-

лярен за рубежом, в частности в США. Присутствие воды в органическом растворителе нежелательно.

Возможна классификация покрытий по виду расплава и конструкциям отливок. Циркон применяют для стальных и массивных чугунных отливок. Покрытия для марганцовистой стали содержат основные наполнители – оливин или магнезит. Краски для чугунных отливок, как правило, содержат углеродистые основные наполнители. Для цветных сплавов подходят низкоогнеупорные материалы, например тальк. При магниевом литье в краски входят ингибиторы нейтрализации, присутствие воды в этом случае нежелательно.

Специфическими особенностями обладает окраска поливом при небольшом избыточном давлении потока краски, применяемая чаще всего для окраски крупных стержней и форм или больших групп однородных изделий.

Этот метод применяют давно, особенно при поточном производстве. Краска, нанесенная таким способом, хорошо заполняет поры и сопротивляется проникновению металла в форму. При этом хорошо обеспечиваются сток, сбор и возврат краски.

Преимущества метода полива:

- снижение времени финишной обработки форм и стержней;
- снижение времени очистки благодаря лучшему качеству покрытия;
- более легкая очистка из-за отсутствия следов кисти или тампона;
- однородность пленки краски;

исключение твердых частиц из воздуха, образующихся при пульверизации;

снижение расхода краски из-за формирования более тонкой ее пленки более чем на 50 %.

Сушку форм и стержней из ХТС проводят в производительном сушильном туннеле, к которому подведены: система циркуляции горячего воздуха, нагревательные рефлекторы или коротковолновые инфракрасные излучатели. Для нагрева применяют электрический ток или газ. Туннель делают таким образом, чтобы полноценная сушка соответствовала ритму работы всей системы. По возможности туннель для предварительной сушки устанавливают перед окрасочной системой для ускорения отверждения перед манипулятором окрасочной системы. Это снижает риск повреждений и препятствует слишком глубокому проникновению краски в форму, что облегчает последующую сушку.

Технология окраски и, в частности, оптимальный интервал между протяжкой и окраской зависят от типа ХТС (природы связующей компо-

зиции) и вида покрытия (водное или спиртовое). При неправильно выбранном интервале возможны разупрочнение поверхностного слоя смеси и появление на нем дефектов.

При использовании водной краски в процессе Rep-set ее применяют сразу после протяжки и сразу же сушат. При использовании спиртовой краски ждут минимум 10 мин после протяжки, затем наносят краску и сушат ее на воздухе.

Краски на изопропиловом спирте можно через 1...2 мин поджигать, после чего форма готова к заливке. Без поджигания до заливки необходима выдержка окрашенной формы.

В Альфа-сет- и Бета-сет-процессах краску наносят после полимеризации связующего. Применяют краску любого типа, но с условием ее правильной сушки. Температура сушки должна быть умеренной, чтобы не разрушить связующее.

Для ХТС со смолами кислотного отверждения приемлемы любые растворители и наполнители, но наносить краску следует на полностью затвердевшую смесь, иначе поверхность стержня или формы может оказаться рыхлой.

Общие сведения о влиянии растворителя красок на время выдержки стержней до окраски приведены в табл. 93.

93. Влияние растворителя на снижение поверхностной прочности, %

Связующее ХТС	Растворитель покрытия			
	Вода	Вода со сма- чивающим агентом	Изопро- пиловый спирт	1,1,1-три- хлорэтан
Фурановая смола	20	20	20	10
Фенольная смола с кисло- той или эфиром	30	30	30	10
Связующие, отверждае- мые газом (амин, SO ₂ , эфир)	> 30	> 30	20	10
Жидкое стекло, отверждае- мое углекислым газом или эфиром, фосфаты	> 30	> 30	20	10

Обычно краска тиксотропна, т.е. ее вязкость восстанавливается сразу после извлечения стержня из ванны, опережая потеки и следы капель. Тиксотропия возникает при высоком содержании в краске глины. Однако это может привести к растрескиванию при сушке. В целом тиксотропных свойств достигают определенными добавками.

Время погружения стержня в краску надо сводить к минимуму, иначе это приводит к излишней толщине покрытия, каплям, чрезмерному проникновению краски в смесь. Автоматизированный процесс погружения дает наилучшие результаты, особенно для блоков стержней. При этом желательно пропеллерное перемешивание краски, что обеспечивает стабильность свойств покрытия и позволяет избежать проблем, связанных с тиксотропией.

Частично остатки смеси накапливаются в емкости с краской. Этот процесс нужно контролировать, а емкость регулярно чистить.

Метод полива объединяет преимущества методов опрыскивания и погружения. Он удобен и производителен, особенно при небольших площадях и больших группах однородных стержней.

Оборудование для реализации этого метода отличается простотой. При поливе нужно собирать протекшую краску и отделять на специальной сетке остатки смеси.

При приобретении готовых покрытий желательно руководствоваться следующим:

покрытие выбирать по требованиям данного производства;

четко соблюдать взаимосвязь между составом покрытия и его применением;

изменения в применении покрытия должны соответствующим образом сопровождаться изменениями в его составе, способе приготовления или сырье;

технический надзор и лабораторные испытания покрытий должны соответствовать технологии литья.

Если покрытие производит литейное предприятие, следует предварительно оценивать компоненты по следующим показателям:

огнеупорный наполнитель: по размеру частиц; чистоте; плотности; содержанию углерода; рН; ППП;

связующие: по прочности связывания; вязкости после растворения в растворителе; температуре плавления; растворимости; содержанию углерода; рН; внешнему виду; отверждающей части; ППП;

суспензирующий агент: по вязкости после растворения в растворителе; суспензирующей способности; размеру частиц; рН; влажности; ППП;

растворитель: по чистоте; плотности; совместимости с другими компонентами; температуре воспламенения;

добавки: по внешнему виду; плотности; вязкости; рН.

При приготовлении противопопригарных красок нормируют следующие параметры:

массу компонентов;

температуру применяемых материалов;

порядок введения компонентов;

время перемешивания каждого компонента;

общее время перемешивания;

скорость перемешивания;

вязкость продукта.

В целом готовый продукт контролируют по показателям вязкости и плотности в состоянии, готовом к употреблению; содержанию твердой части; внешнему виду; оседанию; рН.

При окраске могут возникать дефекты, связанные с недостатками качества краски, неправильным применением технологии окраски. Кроме того, по тем же причинам появляются дефекты отливок, зависящие от технологии окраски.

Дефекты при окраске. *Потеки* возникают на вертикальных поверхностях. После сушки потеки остаются, в них сгущаются остатки жидкого растворителя. Следы потеков остаются на отливке, они могут имитировать след газового дефекта, создавать проблемы при контроле размеров, препятствовать установке стержня в знаки. Потеки являются следствием чрезмерной вязкости покрытия или неправильной технологии сушки.

Капли остаются на нижней части и на боку стержня или форм и приводят к возникновению маленьких круглых отверстий на отливке, иногда кажущихся газовыми порами, появлению трещин при сборке формы. Причинами образования капель могут быть слишком большая вязкость краски, недосушка, неправильное перемешивание краски.

Брызги (сгустки). Недосушенная, жидкая краска может дать дефекты стержня или формы, быть причиной отклонения в размерах отливки. Газовый дефект также может быть результатом неполной сушки массивной пленки покрытия. Исключить такие дефекты можно путем модернизации сушильного оборудования. Нужно предусмотреть углубления для стоков в стержне. Полезен обдув воздухом низкого давления мест скопления излишков краски.

Следы кисти: слишком вязкая краска; грубая неэластичная щетина кисти.

Прорывы. Каналы для удаления газов при нанесении покрытия могут заполняться краской. В этом случае, если адгезия краски к смеси недостаточна, то под давлением газа, выделяющегося во время заливки расплава, может возникнуть прорыв. Их нужно очищать или изолировать пленкой перед окраской и удалять пленку после высыхания краски.

Сетка трещин. При испарении растворителя возникает усадка. Большинство покрытий имеют равномерную усадку, тогда трещины не возникают. Однако даже хорошие покрытия могут дать трещины при сушке, если слишком велика их толщина или высока скорость сушки. Трещины не всегда видны невооруженным глазом. Пленка краски с сеткой трещин склонна к эрозии и отслаиванию при заливке.

Дефекты отливок, зависящие от качества краски. *Засоры, эрозия.* Засор – выступ в отливке, параллельный движению металла. Эрозия – рельефное грубое пятно на отливке. Огнеупорное покрытие снижает эти дефекты при сглаживании и упрочнении поверхности смеси. Однако при некоторых условиях применение покрытий способствует их появлению. Слишком тонкая пленка покрытия дает грубую поверхность или не обеспечивает ее достаточное упрочнение. При отделении краски от смеси в отливке образуются засоры, особенно в поверхностных слоях. Толстое покрытие может треснуть и пропустить металл под пленку, который разрушит смесь. Эти проблемы не возникают при оптимальной толщине покрытия.

Растворитель покрытия может реагировать со связующим смеси. Это является следствием неудачного состава покрытия или его неправильного применения. Такой дефект сильнее проявляется при следующих условиях: низкой плотности; излишнем проникновении покрытия в смесь; излишнем времени погружения и также излишнем проникновении краски в смесь; излишней задержке между сушкой покрытия и заливкой металла.

Газовые дефекты. Неполная сушка, а также излишняя толщина покрытия могут быть причиной газовых дефектов.

Твердые пятна – это участки аномально высокой твердости металла отливки из-за его неправильного состава или повышенной скорости охлаждения. Слишком толстая или недосушенная краска может ускорить охлаждение.

Недолив является результатом встречи двух потоков металла. Это происходит вследствие слишком толстой или недосушенной пленки по-

крытия, особенно у отливок сложной формы при резко различных толщинах стенок.

Нарушение размеров отливки. Вариации толщины краски могут стать причиной выхода размеров отливки за пределы допуска. Качественная покраска позволяет точно соблюдать размеры, особенно на тонкостенных участках. Капли и потеки способствуют локализации размерных проблем.

Механический пригар. Краска снижает вероятность его возникновения. Краска должна хорошо сопротивляться давлению жидкого металла. Для этого необходимо оптимальным образом подбирать краску и технологию ее нанесения. В особых случаях целесообразно применять двухслойное покрытие.

Ужимины – это локализованный слой металла над поверхностью отливки. При отделении краски или краски вместе со смесью образуется полость, которая заполняется металлом. Существует разница между ужиминной, обусловленной деформацией краски, и ужиминной от смеси. Первая перпендикулярна к поверхности отливки, вторая – выпуклая. Если растворитель краски реагирует со связующим смеси, это ослабляет адгезию краски к смеси или смеси к смеси. В обоих случаях возникают ужимины. Это значит, что неверно подобрана краска или технология окраски. Появление ужимин более вероятно при следующих условиях: недостаточном уплотнении смеси, что облегчает проникновение краски в смесь; излишних времени погружения и проникновении краски в смесь; излишней задержке между сушкой покрытия и заливкой металла при недосушенном покрытии.

Полочки являются результатом течения расплава по поверхности и перегрева или радиального нагрева и отрыва слоя смеси.

Просечка – это ребро или ребра над поверхностью металла, возникающие вследствие термического расширения смеси и дающее трещину, заполненную металлом. В целом этот дефект не связан с покрытием, однако ряд покрытий в определенной степени способен снизить возможность образования просечки. Эта способность определяется составом краски и ее выбором.

Технология окраски должна снижать или исключать вероятность образования просечек. Образование просечки зависит от типа стержня, качества и типа смеси, конфигурации отливки, состава сплава. Краска действует на просечки, потому что ослабляет термический удар при заливке.

Указанный принцип ликвидации просечек пригоден для всех основных видов ХТС, в том числе отверждаемых газовыми реагентами.

Номенклатура свойств покрытий, подлежащих испытаниям. Покрытие в виде сухого или влажного порошка: ППП; влажность. Паста: ППП; процент твердого вещества; влажность.

Предварительно готовое покрытие: ППП; процент твердого вещества; влажность; вязкость; плотность.

Свойства для применения: градусы Боме; вязкость; pH; седиментация (оседание).

Свойства после окраски: толщина слоя; цельность пленки; потеки, капли; огнеупорность; прочность сцепления с подложкой.

Методы испытаний покрытий по отечественным стандартам изложены в работе [4]. Ниже для примера приведено описание методов испытаний из ТУ на одно из отечественных водных покрытий.

Подготовка проб к испытанию. *Отбор средней пробы.* Частичные пробы отбирают из бочек в равных количествах с верхнего уровня и на глубине 300...400 мм. Отобранные частичные пробы соединяют вместе, перемешивают и методом квартования усредняют. Масса средней пробы должна быть не менее 1 кг. Среднюю пробу делят на две равные части и помещают в плотно закрываемые стеклянные или фарфоровые банки. На банки наклеивают этикетки с указанием наименования и марки покрытия, наименования предприятия-изготовителя, номера партии, даты изготовления, даты отбора пробы. Одну банку с покрытием передают в лабораторию для анализа, другую хранят в течение гарантийного срока.

Разведение покрытий для испытаний. *Оборудование:* лабораторная краскомешалка со скоростью вращения смесителя 400...600 мин⁻¹, рекомендуемая краскомешалка по ГОСТ 10772-78, мерный цилиндр с градуировкой 1...10 мл по ГОСТ 1770-74.

Около 0,5 кг средней пробы покрытия разводят водой до плотности 1,36...1,42 г/см³. В краскомешалку сначала загружают воду, а затем покрытие. Покрытие вводят отдельными порциями с последующим перемешиванием. Время перемешивания покрытий в краскомешалке не менее 20 мин. Однородность разведенного покрытия контролируют визуально по внешнему виду слоя покрытия, нанесенного на стекло. При наличии в слое включений неразведенного покрытия перемешивание продолжают до получения однородной массы.

Для определения плотности мерный цилиндр взвешивают с точностью до 0,01 г, заполняют разведенным покрытием до отметки 10 мл и взвешивают с той же точностью.

Плотность ρ , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{10},$$

где m_2 – масса заполненного мерного цилиндра, г; m_1 – масса пустого мерного цилиндра, г.

Определение влажности покрытия. *Оборудование:* сушильный шкаф с закрытыми элементами нагрева с приспособлениями для измерения и регулирования температуры; стаканчик для взвешивания (бюкс) и эксикатор по ГОСТ 25336–82.

Проведение анализа. Навеску от средней пробы покрытия массой $(10 \pm 0,01)$ г помещают в бюкс, предварительно взвешенный с точностью до 0,01 г, и высушивают в сушильном шкафу при температуре 105... 110 °С до постоянной массы (около 2 ч). Покрытие считают высушенным, если последующее взвешивание после дополнительной сушки в течение 15 мин покажет уменьшение массы, не превышающее 0,01 г. Перед каждым взвешиванием бюкс с покрытием охлаждают в эксикаторе до (20 ± 3) °С.

Обработка результатов. Влажность W , %, вычисляют по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m} 100,$$

где m_1 – масса бюкса с покрытием до сушки; m_2 – масса бюкса с покрытием после сушки; m – масса и навеска покрытия.

Определение условной вязкости. Условную вязкость разведенного покрытия определяют по ГОСТ 1532–81.

Определение седиментационной устойчивости. *Оборудование:* мерный цилиндр с градуировкой 0...250 мл по ГОСТ 1770–74.

Проведение анализа. Приготовленное покрытие наливают в мерный цилиндр до отметки 250 мл и выдерживают в состоянии покоя в течение 3 ч, после чего измеряют протяженность верхнего осветленного слоя.

Обработка результатов. Седиментационную устойчивость C , %, вычисляют по формуле

$$C = \frac{V_1 - V_2}{V_1} 100,$$

где V_1 – общий объем столба покрытия в цилиндре, мл; V_2 – объем верхнего осветленного слоя покрытия в цилиндре, мл.

Внешний вид покрытия определяют визуально при осмотре стеклянной пластины с нанесенным на стекло и высушенным покрытием.

Определение прочности к истиранию. *Оборудование и материалы.* Установка для проведения испытаний состоит из вискозиметра марки ВЗ-4 по ГОСТ 9070–75, подставки с матовым стеклом и упором для стеклянной пластины с покрытием, резервуара для формовочного песка, источника света мощностью не более 10 Вт, пластины из фотостекла длиной (120 ± 1) мм, шириной (60 ± 1) мм и толщиной 1,2...2,0 мм.

Формовочный песок по ГОСТ 2138–91, отмоченный, высушенный и просеянный через сито № 063 по ГОСТ 6613–86, а затем через сито № 0315. Для анализа берут песок, оставшийся на сите № 0315.

Сушильный шкаф с закрытыми элементами нагрева и приспособлениями для измерения и регулирования температуры.

Микрометр типа МКО-25 по ГОСТ 6507–90.

Эксикатор по ГОСТ 25336–82.

Подготовка к анализу. Стеклянные пластины, используемые при анализе, предварительно тщательно моют теплой водой, высушивают в сушильном шкафу при температуре 105...110 °С в течение 5...10 мин и охлаждают в эксикаторе до (20 ± 3) °С. Микрометром измеряют толщину пластины не менее чем в трех точках с точностью до 0,01 мм и вычисляют среднее арифметическое значение толщины. Отмеряют 100 мл покрытия и выливают на стеклянную пластину, установленную под углом 45°. Излишки покрытия сливаются в подставленную под пластину чашу. Затем пластину переворачивают относительно оси, перпендикулярной к ее плоскости, на 180° и операцию повторяют, выливая покрытие, собранное в чаше.

После нанесения покрытия пластину устанавливают горизонтально (покрытием вверх) и помещают в таком положении в сушильный шкаф. В сушильном шкафу пластину выдерживают при температуре (150 ± 5) °С в течение 20 мин, затем извлекают и охлаждают в эксикаторе до (20 ± 3) °С.

После охлаждения микрометром измеряют толщину пластины с покрытием не менее чем в трех точках с точностью до 0,01 мм и вычисляют среднее арифметическое значение.

Проведение анализа. Пластину с покрытием помещают под выходным отверстием вискозиметра ВЗ-4 на матовое стекло покрытием вверх и закрепляют так, чтобы образец не сдвигался во время испытаний. Включают источник света. Через вискозиметр на пластину сыплют формовочный песок до тех пор, пока покрытие в месте удара песка не сотрется до стекла. Истирание прекращают, когда диаметр разрушенного участка

покрытия достигнет 1,5...2,0 мм. Массу песка, израсходованного на истирание, взвешивают с точностью до 0,01 кг.

Проводят не менее трех испытаний, при этом каждое испытание – на новом участке покрытия.

Обработка результатов. Прочность покрытия к истиранию R , кг/мм, вычисляют по формуле

$$R = \frac{m}{l_1 - l},$$

где m – масса песка на истирание, кг; l – среднее арифметическое значение толщины стеклянной пластины, мм; l_1 – среднее арифметическое значение толщины стеклянной пластины с покрытием, мм.

Глава 8

ДЕФЕКТЫ ОТЛИВОК, ЗАВИСЯЩИЕ ОТ СВОЙСТВ СМЕСЕЙ И ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Многие дефекты отливок образуются из-за формовочных материалов. Это ужимины, просечки, химический и механический пригары, газовые раковины, пористость, засоры, трещины. Они, как правило, выявляются при механической обработке.

8.1. СВОЙСТВА ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ

Определяющим является механизм образования дефектов. С одной стороны, это химические, физические и технологические свойства формовочных материалов, с другой – их изменение при взаимодействии с металлом.

Типичные дефекты отливок возникают в результате влияния следующих факторов:

напряжений в форме или стержне (просечки, ужимины);

термических превращений в смеси (пригар, газовые раковины, пористость);

упругих и пластических деформаций формы и стержня (отклонение в размерах, горячие и холодные трещины);

явления нестабильности в форме и стержнях (поломки, растрескивание, вспучивание, отклонение в размерах).

В табл. 94 приведены условия, влияющие на возникновение усадочных дефектов.

94. Условия изготовления отливок, влияющие на образование в них усадочных дефектов

Усадка	Отклонение размера отливки	Эндогенные раковины	Экзогенные раковины
Конструкция отливки	Конструкция отливки	Состав шихты	Конструкция отливки

Окончание табл. 94

Усадка	Отклонение размера отливки	Эндогенные раковины	Экзогенные раковины
Положение при заливке	Положение и фиксация стержней	Присадки	Скорость нагрева
Литниковая система и питание	Технология изготовления стержней	Технология плавки	Скорость удаления газов
Технология плавки	Формовочные материалы и технология формовки	Время выдержки	Газопроницаемость смеси
Состав легирующих элементов	Различия в степени уплотнения смеси	Состав сплава	Выход газов
	Положение при заливке, литниковая система	Модифицирование	Различия в степени уплотнения
Формовочные материалы и технология формовки	Размещение и размеры питателей	Формовочные смеси, сушка ковша и желоба	Различия в степени высушивания
Технология изготовления стержней	Кристаллизация графита	Температура заливки	Различие в степени упрочнения смеси
Время и температура заливки	Количество эвтектического графита	Литниковая система	Разделительное покрытие
Внутренние и наружные холодильники	Время и температура заливки	Весовая скорость заливки	—

8.2. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ

Проникновение (пенетрация) металла в поверхностный слой формы

Низкая плотность стержней или форм, их пористая поверхность из-за недостаточного уплотнения, надува.

Недостаточное количество связующего.

Неприемлемый наполнитель, его гранулометрический состав, содержание глины.

Неправильная пропорция регенерата и свежего песка.

Неравномерно перемешаны песок и связующее.

Неудачно выбрано разделительное покрытие, оно сочетается со связующим и материалом оснастки (силикатное покрытие не досушено, некоторые покрытия не сочетаются с пластиковой оснасткой).

Неудачная литниковая система, избыточный разогрев смеси.

Заливка слишком горячим металлом; чрезмерная высота ковша.

Рыхлая поверхность стержня или формы (использование смеси с просроченной живучестью).

Плохо просушено покрытие.

Выдавливание металла при избыточном давлении при затвердевании.

Высокая влажность песка.

Просечки

Мягкий стержень или форма с пористым участком поверхности.

Неудачное покрытие или технология его нанесения.

Заливка перегретым металлом или со слишком большой высоты.

Стержень или форма слишком твердые (повышенное содержание связующего).

Острый угол (нужна галтель или радиус скругления).

Форма зерен песка: закругленные зерна более склонны к просечкам, чем частично угловатые или угловатые.

Недостаток вентиляции.

Неправильный подбор смолы с высоким расширением или хрупкостью при высокой температуре.

Неадекватное количество сухих добавок (если одна из них применяется как средство устранения просечек).

Газовые дефекты

- Недостаточная вентиляция.
- Поверхность формы сильно закрыта крестовиной и т.д.
- Слишком мелкий песок – плохая проницаемость.
- Чрезмерное газообразование в смеси.
- Примеси в смеси.
- Комки смолы плохо перемешаны со смесью.
- Покрытие не высушено, особенно в его скоплениях в углах, углублениях формы.
- Слишком толстый слой покрытия.
- Нарушена поверхность покрытия.
- Избыток смолы или связующей композиции.

Поглощение влаги при высокой влажности, характерное для некоторых видов связующих

- Поглощение влаги при высокой влажности, характерное для некоторых видов связующих.
- Плохо очищены металлические холодильники.
- Металл плохо очищен от ржавчины.
- Низкая температура заливки.
- Недостаточное давление столба металла.
- Недостаточные время или температура испарения растворителей.

Ситовидная пористость

- Заливка металлом не полностью затвердевшего стержня или формы.
- Повышенная влажность смеси.
- Слишком высокое содержание в смеси летучих компонентов.
- Неудачный выбор песка (неподходящая кислотная потребность и др.).
- Повышенное количество смолы или связующей композиции.
- Низкая температура заливки.
- Краска плохо высушена; слишком толстый слой краски.
- Поглощение влаги при высокой влажности, характерное для некоторых видов связующих.
- Высокое содержание азота в связующем.
- Применение регенерата с повышенным содержанием азота.

Горячие трещины

- Избыточное применение арматуры.
- Низкая температура заливки
- Литниковая система и прибыли, которые препятствуют нормальной усадке металла.
- Слишком ранняя выбивка.
- Неправильное расположение холодильников.
- Отсутствие возможности перемещения (зажатость).

Блестящий углерод со складчатостью (в основном это связано с уретановыми связующими системами)

- Низкая температура металла.
- В смеси отсутствует оксид железа.
- Избыток смолы.
- Слишком медленная заливка металла.
- Недостаточная газопроницаемость смеси или вентиляция формы.
- Неудачно выбран растворитель; недостаточные время или температура рассеяния растворителя.

Песчаные раковины

- Слишком раннее извлечение стержня из ящика.
- Протяжка с перекосом.
- Стержневая оснастка перекошена.
- Неровные соединения или разъединение частей оснастки.
- Слишком большие массы стержней.

Эрозия (размыв смеси при движении металла)

- Низкая плотность стержня/формы из-за плохого надува, засора надувных сопел, недостаточного уплотнения или обжатия смеси.
- Покрытие не попало на некоторые участки из-за засора форсунки, неправильной ориентации стержня при погружении или опрыскивании.
- Неправильная комбинация вида покрытия и метода нанесения.
- Песок и связующее плохо перемешаны.
- Недоотвержденный стержень вследствие неполной продувки или перепродувки, рыхлая поверхность.
- Переувлажнение при некоторых типах связующих из линии сжатого воздуха.
- Неправильная конструкция литниковой системы.
- Низкое содержание связующего.

Прогиб (увеличение или уменьшение в секциях металла из-за прогиба верхней половины формы или стержня)

Низкая плотность стержня или формы вследствие недостаточного надува или уплотнения.

Переувлажнение при некоторых типах связующих из линии сжатого воздуха.

Неправильный объем по дозатору смолы и катализатора, послуживший причиной низкой прочности смеси.

Слишком раннее извлечение стержня из ящика во время цикла отверждения.

Протяжка с перекосом.

Холодный песок, холодная оснастка, отверждение при пониженной температуре.

Усадочные дефекты (пористость, внутренние раковины)

Недостаточное уплотнение стержня или формы.

Преждевременное использование стержня или формы до полного отверждения.

Высокая температура заливки.

Недостаточная опора или утяжеление безопочной формы.

Низкая температура заливки (недостаточная прибыль, компенсирующая эффект перемены усадки при ковких и высоколегированных чугунах).

Для оперативных решений по выявлению причин возникновения дефектов и возможных путей их ликвидации можно воспользоваться обобщенной таблицей (табл. 95).

95. Дефекты отливок и причины их возникновения

Причина возникновения дефекта	Виды дефектов				
	Пригар	Блестящий углерод	Газовая пористость	Газовые раковины	Просечки и дефекты расширения
Формовочные материалы					
Крупность песка	х				х
Газопроницаемость		х	х	х	

Продолжение табл. 95

Причина возникновения дефекта	Виды дефектов				
	Пригар	Блестящий углерод	Газовая пористость	Газовые раковины	Просечки и дефекты расширения
Химия связующего (азот, вода)			х		
Восстановительная атмосфера в форме		х	х	х	
Избыток смолы			х	х	
Неправильное соотношение компонентов связующего			х	х	
Низкая плотность стержня	х				
Исчерпана живучесть смеси	х				
Недоотвержденная смесь			х		
Калибровка дозаторов			х	х	
Плохо перемешанная смесь	х		х	х	
Поломки стержней	х				х
Неправильная вентиляция ящиков		х	х	х	х
Шероховатая поверхность стержня	х				
Неверная технология заливки			х		
Конденсат или ржавые холодильники в форме					х
Неверная технология сборки формы				х	
"Горячая выбивка"					

Продолжение табл. 95

Причина возникновения дефекта	Виды дефектов				
	Пригар	Блестящий углерод	Газовая пористость	Газовые раковины	Просечки и дефекты расширения
Металл					
Повышенная температура металла	х		х		х
Пониженная температура металла		х		х	
Сильно окисленный сплав			х	х	
Загрязненная шихта			х	х	
Неудовлетворительный химический состав металла			х		
Конструкция отливки					
Низкая скорость заливки		х		х	х
Неправильная литниковая система		х	х		х
Избыточное ферростатическое давление	х				
Недостаточное ферростатическое давление				х	
Неправильно выполнены галтели					х
Перемерзание литников				х	

Окончание табл. 95

Причина возникновения дефекта	Виды дефектов			
	Ужими-ны	Засоры	Эрозия	Горячие трещины
Неправильное соотношение компонентов связующего			х	х
Низкая плотность стержня	х		х	
Исчерпана живучесть смеси	х		х	
Недоотвержденная смесь			х	
Поломки стержней	х			
Неправильное применение краски	х		х	
Шероховатая поверхность стержня	х		х	
Неверная технология заливки		х		
"Горячая выбивка"		х		х

Глава 9

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ХТС

9.1. МАССОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЯ

Многие заводы массового производства в последние годы проводят замену процесса изготовления стержней по горячим ящикам на ХТС, отверждаемые продувкой газовыми катализаторами. При принятии соответствующего решения приоритетными являются вопросы об ожидаемом экономическом эффекте и технических преимуществах для конкретного производства и актуальной рыночной конъюнктуре.

Например, при изготовлении по горячим ящикам наблюдается неоднородность механических свойств и температур в объеме стержня при его дополнительном упрочнении на воздухе. Вследствие этого возникают значительные термические напряжения; форма стержня отклоняется от чертежа как за счет изменения размеров ящика при нагреве, так и за счет коробления стержня на воздухе. В результате возникают проблемы при конструировании деталей современных автомобилей, поскольку конфигурация стержня и минимальные геометрические размеры его сечений определяются возможностью извлечения его из горячего ящика, сохранения стержня без деформаций и поломок, полного соответствия размеров чертежу. Деформации горячего стержня приводят также к необходимости увеличения припусков.

При "холодном" изготовлении стержней из ХТС смесь затвердевает равномерно по всему объему и набирает 70...80 % окончательной прочности, что позволяет извлекать из ящика абсолютно точные стержни, безупречно повторяющие геометрию рабочей полости стержневого ящика. Именно вследствие возможности получения сложных и точных стержней новые процессы вытесняют горячие ящики в современном моторном производстве.

Как правило, сложные наборы комплектов стержней для отливки блока цилиндров двигателя легкового автомобиля имеют отклонения от чертежных размеров, не превышающие 0,3 мм.

Однако "холодные" процессы имеют и ряд других значительных технико-экономических преимуществ. Они дают возможность коренным

образом улучшить условия труда в стержневых отделениях и экологическую ситуацию в литейном цехе. Улучшение условий труда обеспечивается организацией отсоса газа-отвердителя непосредственно от стержневого ящика в нейтрализатор, отсутствием выделения вредных газов из готового стержня, а также тем, что процесс осуществляется без нагрева стержневого ящика и сопутствующего нагреву выделения продуктов сгорания и дымов. Оператор стержневой машины работает в более комфортных условиях.

Следует особо подчеркнуть, что ни одно производство автомобильных отливок на современном уровне, а также освоение выпуска перспективных моделей двигателей невозможно без использования технологии изготовления стержней по холодным ящикам.

Ниже приведен расчет экономической эффективности внедрения Cold-box-amine-процесса для производства алюминиевых отливок для грузовых автомобилей на одном из крупных российских заводов. Цены приведены по состоянию на 1998 г. По опыту работы и экспертным оценкам, при внедрении ожидается достижение ряда технико-экономических показателей, а именно снижения:

- брака стержней в 2 раза;
- брака отливок на 40 %;
- затрат на ремонт стержневой оснастки в 1,5–1,8 раза;
- затрат на ремонт стержневых машин на 30 %;
- затрат на часть вспомогательных материалов, а также:
 - отказа от потребления природного газа;
 - ликвидации сушила.

Кроме перечисленных показателей существуют другие направления возможной экономии, дополнительные данные по которым выявляются в процессе освоения.

1. Снижение транспортных и складских расходов за счет сокращения расхода связующих в 1,8–2 раза, а также сокращения номенклатуры покупных материалов.

2. Снижение затрат на защиту окружающей среды:

- отсутствие вредных выделений формальдегида и фурилового спирта в стержневом цехе;
- снижение газовыделений при заливке и охлаждении в 1,8–2 раза;
- полное устранение вредных выбросов от работы сушила;
- снижение вероятности профессиональных заболеваний персонала стержневого цеха.

96. Сравнение затрат

Статья затрат	Затраты, тыс. руб., на годовую программу		Удорожание (+), удешевление (-)
	Горячие ящики	Cold-box- amine- процесс	
Стоимость стержневой смеси	1687	1851	+ 164,2
Потери от брака отливок	6089	3653	- 2435,7
Капитальный ремонт стержневых машин	341	238,7	- 102,3
Средний и профилактический ремонты стержневых машин	132,5	77,9	- 54,6
Природный газ	343,8	0	- 343,8
Зарплата производственного персонала	1207	1026	- 181,0
Вспомогательные материалы:			
дробь	240	-	- 240
моющее вещество	24,5	-	- 24,5
Захоронение отходов (брак стержней)	204	102	- 102
Амортизация сушильного оборудования	24,6	-	- 24,6
Итого	10 293,4	6948,6	3420,2

3. Возможное увеличение объема производства за счет привлечения заказов на отливки повышенной точности.

Расчет проведен на годовую программу 4000 т. Результаты расчета представлены в табл. 96.

Затраты на внедрение новой технологии:

НИР, включая проектирование и изготовление нейтрализатора и пяти газогенераторов, 6160 тыс. руб.;

затраты на изготовление дополнительных устройств к имеющимся стержневым машинам – ориентировочно 850...1100 тыс. руб.;

затраты на модернизацию нагреваемой оснастки, применявшейся ранее, 1100...1200 тыс. руб.

Итого затраты на внедрение составят 8260 тыс. руб. При этом срок окупаемости затрат 2,2 года.

9.2. МАССОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО БЛОКОВ ЦИЛИНДРОВ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Ниже приведен пример сравнительного расчета затрат, выполненный применительно к изготовлению части комплекта стержней отливок блоков цилиндров для легковых автомобилей типа ВАЗ вместо применяемого процесса по горячим ящикам.

Стоимость стержневых смесей приведена в табл. 97 и 98.

97. Стоимость стержневой смеси для стержней водяной рубашки и стержня со стороны шестерни

Материал	Горячие ящики			Cold-box-amine-процесс	
	Расход, кг/т смеси	Стоимость		Расход, кг/т смеси	Стоимость, руб./т смеси
		1 кг, руб.	руб./т смеси		
Песок	972,2	86,8	84 386	982,1	85 246
Пигмент железоксидный	0,7	7463	86,8	0,7	5224
Катализатор – медь азотно-кислая	4,4	17 500	77 000	–	–
Мочевина	0,5	900	450	–	–
Смола КФ-90	18,0	9700	174 600	–	–
Смола ФПР-24	2,5	5200	13 000	–	–
ПАВ "Прогресс"	0,7	4105	2874	–	–
Спирт	1,0	31 500	31 500	–	–
Компонент А	–	–	–	8,0	120 000
Компонент В	–	–	–	8,0	120 000
Триэтиламин	–	–	–	1,2	6000
Итого	–	–	389 034	–	336 470

98. Стоимость стержневой смеси для центральных стержней отливки блока цилиндров

Материал	Горячие ящики			Cold-box-amine-процесс	
	Расход, кг/т смеси	Стоимость		Расход, кг/т смеси	Стоимость, руб./т смеси
		1 кг, руб.	руб./т смеси		
Песок	965,9	86,8	83 821	976	84 717
Пигмент железо-оксидный	6,8	7463	50 748	6,8	50 748
Катализатор ФС26-6	5,2	2300	11 960	–	–
Смола ФПР-24	20,5	5200	106 600	–	–
ПАВ "Прогресс"	0,6	4105	2463	–	–
Спирт	1	31 500	31 500	–	–
Компонент А	–	–	–	8	120 000
Компонент В	–	–	–	8	120 000
Триэтиламин	–	–	–	1,2	6000
Итого			287 092		381 465

Расход стержневых смесей на годовую программу

Данные для расчета:

брак стержней по базовой технологии (горячие ящики), %	20
брак стержней по новой технологии, %	4
брак отливок из-за некачественных стержней, %:	
по базовой технологии	3,5
по новой технологии	1,8
потребность в годных отливках блока цилиндров, шт/год	850 000
потребность в стержневых комплектах блока цилиндров с учетом брака по базовой технологии, шт	1 110 000

Потери от брака отливок по причинам, связанным со стержнями. Практика показывает, что при переходе на изготовление стержней по холодным ящикам брак отливок блоков цилиндров сокращается как минимум в 2 раза, что объясняется повышением точности стержней и снижением брака по газовым раковинам, трещинам и засорам.

Затраты на ремонт стержневых ящиков. В соответствии с опытом мировой эксплуатации стержневой оснастки в литейных цехах, производящих отливки для автомобилей, затраты на ремонт стержневых ящиков при холодном процессе снижаются по сравнению с процессом по горячим ящикам в среднем в 3 раза. На КамАЗе количество средних ремонтов стержневых ящиков снизилось в 9 раз.

99. Сравнение стоимости ремонта отдельных стержневых ящиков

Модель автомобиля	Оснастка	Базовая технология		Новая технология	
		Стоимость 4-5 профилактических ремонтов в год, тыс. руб.	Стоимость 2-3 средних ремонтов в год, тыс. руб.	Стоимость 1,5 профилактических ремонтов в год, тыс. руб.	Стоимость 0,8 средних ремонтов в год, тыс. руб.
Заднеприводные	Центровые стержни	12 826	14 726	4 275	4 908
	Стержни для отливок водяных рубашек	18 073	28 440	6 024	9 616
	Стержни со стороны шестерни	7 831	9 467	2 610	3 155
Переднеприводные	Центровые стержни	13 254	19 412	4 418	6 470
	Стержни для отливок водяных рубашек	15 061	28 449	5 020	9 483
	Стержни со стороны шестерни	7 530	11 045	2 510	3 681

100. Сравнение стоимости ремонта комплектов стержневых ящиков

Модель автомобиля	Оснастка	Горячие ящики			Cold-box-amine-процесс		
		Стоимость ремонта одного ящика, тыс. руб.	Количество ящиков в комплекте, шт.	Годовая стоимость ремонтов, тыс. руб.	Стоимость ремонтов одного ящика, тыс. руб.	Количество ящиков в комплекте, шт.	Годовая стоимость ремонтов, тыс. руб.
Заднего привода	Центровые стержни	27 552	4	110 211	9 178	4	36 748
	Стержни для отливок водяных рубашек	46 523	2	93 046	15 640	2	31 280
	Стержни со стороны шестерни	17 299	2	34 598	5 765	2	11 530
Переднего привода	Центровые стержни	32 666	4	130 664	10 888	4	43 552
	Стержни для отливок водяных рубашек	43 510	2	87 020	14 503	2	29 006
	Стержни со стороны шестерни	18 575	2	37 150	6 191	2	12 382
Итого		492 689			164 498		

Снижение затрат объясняется увеличением продолжительности межремонтного срока, так как части стержневого ящика не нагреваются под действием открытого пламени газовых горелок, не подвержены перепадам температуры, не изменяют размеров и не трескаются. Снижается трудоемкость всех видов ремонта и обслуживания как за счет меньшей сложности ремонта, так и за счет применения при ремонте современных нежароупорных материалов (пластмасс, компаундов, клеев и др.) и современных технологий ремонта (табл. 99, 100).

Затраты на воспроизводство стержневых ящиков. Практика эксплуатации стержневых ящиков показывает, что при холодном процессе срок службы ящиков при прочих равных условиях в 2–4 раза больше срока службы ящиков, эксплуатируемых в горячую. Это объясняется теми же причинами, которые указаны при обосновании увеличения межремонтных сроков, а также тем, что абразивное воздействие смеси на материал ящика уменьшается из-за повышенной текучести стержневых смесей, большего диаметра вдувных сопел, отсутствия затвердевания микрообъемов смеси при контакте с горячими стенками ящика. Принципиальное изменение условий работы стержневых ящиков при холодном процессе позволяет в дальнейшем снижать их стоимость за счет изготовления ящиков из более дешевых и более легко обрабатываемых материалов, чем применяемые сегодня.

Затраты на захоронение отходов стержней. Этот вид затрат снижается в связи со снижением общего количества отходов стержней, в первую очередь брака при изготовлении, а также при других технологических и транспортных операциях. В настоящем расчете учтено уменьшение затрат на захоронение, связанное с резким снижением брака стержней с 20 до 4 %, т.е. в 5 раз.

Затраты на ремонт стержневых машин. Этот вид затрат уменьшается при переходе к изготовлению стержней по холодным ящикам на стержневых машинах, на которых ранее стержни производили по горячим ящикам. Стержневые машины при таком переходе уже не подвергаются тепловым воздействиям от газовых горелок, а также действию охлаждающей воды, что резко улучшает условия эксплуатации. В расчете принято сокращение затрат на ремонт и обслуживание машин на 30 %.

Зарплата производственного персонала стержневого участка. За счет сокращения брака стержней и отливок и, соответственно, годовой программы производства стержней, а также за счет повышения производительности труда и сокращения численности служащих затраты на оплату труда производственного персонала уменьшатся на 15 %.

101. Сводная таблица затрат по базовой и новой технологиям, тыс. руб./год

Статья затрат	Горячие ящики	Cold-box-amine-процесс
Стержневые смеси	11 601 556	10 734 047
Потери от брака отливок из-за некачественных стержней	5 344 336	2 748 515
Природный газ	572 040	–
Охлаждающая вода	3096	–
Ремонт стержневых ящиков	492 689	164 498
Воспроизводство стержневых ящиков	4 215 949	1.686 379
Захоронение отходов стержней	293 404	58 680
Ремонт стержневых машин	665 941,5	466 159
Зарплата производственного персонала	3 064 757	2 605 043
Итого	26 253 768,5	18 463 321

В табл. 101 обобщены в количественном виде все рассмотренные выше статьи затрат.

По результатам расчетов годовой экономический эффект составит 790 447 тыс. руб.

Дополнительные статьи экономии. Приведенные расчеты учитывают сокращение прямых затрат, связанных с переходом на технологию производства стержней отливок блока цилиндров по холодным ящикам, в частности по Cold-box-amine-процессу. Кроме того, дополнительный экономический эффект будет получен по ряду статей, расчеты по которым могут быть сделаны уже в процессе освоения новой технологии или в первые месяцы после ее внедрения. Ниже перечислены эти статьи.

1. Уменьшение расходов на транспортно-складские операции за счет снижения содержания связующих материалов в составе смеси с 2,5 до 1,6 %, сокращения номенклатуры покупных компонентов составляющих стержневой смеси с восьми до четырех наименований; сокращения объема вывоза отходов на 4000 т.

2. В технологии Cold-box-amine отсутствуют выделения фенола и формальдегида в стержневом отделении; в 1,5–1,7 раза сокращается общий объем газовыделений в местах заливки, охлаждения и выбивки отливок. В связи с этим могут быть значительно сокращены расходы на вентиляцию производственных помещений.

3. За счет значительного сокращения затрат на ремонт и воспроизводство стержневых ящиков освобождается часть мощностей по производству литейной оснастки для работ по новым видам продукции.

4. Значительно улучшаются условия труда рабочих в стержневом отделении, что должно привести к снижению потерь от временной нетрудоспособности и травматизма.

5. В связи с повышением размерной точности стержней и отливок могут быть снижены припуски на обработку резанием на 25...30 % с соответствующим снижением затрат на механическую обработку и экономией металла.

9.3. ЕДИНИЧНОЕ И МЕЛКОСЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Близкий по структуре анализ экономической эффективности для новых процессов изготовления стержней и форм выполняется при внедрении процессов из группы No-bake. Это чаще всего относится к производству средних и крупных отливок ответственного назначения, в частности в энергомашиностроении, производстве арматуры для нефтяной и газовой промышленности, транспортном машиностроении и др.

Для примера как образец методики приведен расчет, выполненный при освоении технологических процессов Альфа-сет и Бета-сет для изготовления стержней и форм крупной стальной арматуры.

При внедрении может быть получена экономия за счет следующих факторов:

- исключения морально устаревшего оборудования, операций приготовления стержневых смесей на бегунах;

- снижения трудоемкости изготовления стержней;

- снижения затрат на изготовление и ремонт стержневой оснастки;

- снижения расхода материалов и трудоемкости при изготовлении каркасов для стержней;

- ликвидации процесса сушки стержней;

- снижения материальных и трудовых затрат при обрубных работах, связанных с удалением стержней из отливок и исключением операций абразивной зачистки по внутренним поверхностям отливок;

102. Стоимость стального литья, руб./кг

Вид стоимости	Марки стали			
	25Л	20ГСЛ	20ХМФЛ	15Х1М1ФЛ
Цеховая себестоимость	24,074	24 639	32,679	37,282
Производственная себестоимость	34,606	35,171	43,211	47,814

снижения потерь от окончательного брака отливок из-за некачественных стержней;

снижения затрат на исправление дефектов литья;

повышения геометрической точности отливок;

снижения, а в ряде случаев исключения путем повышения геометрической точности отливок затрат на их механическую обработку;

высвобождения производственных площадей на стержневом участке;

возможности изготовления части форм методом безопочной формовки.

Расчет модернизации литейного производства крупной стальной арматуры с переводом на производство стержней и форм по Альфа-сет- и Бета-сет-процессам

1. Объем производства стального литья на данном заводе составляет 5848 т, в том числе по маркам стали:

25Л – 331,352 т (5,87 %);

20ГСЛ – 4284, 671 т (75,85 %);

20ХМФЛ – 234,241 т (4,15 %);

15Х1М1ФЛ – 798,243 т (14,13 %).

Плановая стоимость стального литья приведена в табл. 102. Цены приведены по состоянию на 1998 г.

2. Фактический брак стального литья за 11 мес составил 113,284 т (4,765 %) от сданного годного, по маркам стали соответственно: 25Л – 3,9 %; 20ГСЛ – 3,3 %; 20ХМФЛ – 4,84 %; 15Х1М1ФЛ – 5,76 %.

При этом потери от брака составили за 11 мес 1 470 200 руб.

3. Существующий годовой план на объем стержневых смесей составляет 642 084,4 л, в том числе:

по СО₂-процессу на основе кварцевого песка 196 995,2 л (30,68 % от общего количества стержневой смеси), при этом количество литья, произведенного с применением этой смеси при изготовлении стержней, составляет 2735,88 т;

двухслойной стержневой смеси с облицовкой на основе дистен-силлиманитового концентрата 320 156,4 л (49,86 %), плановое количество литья, изготовленного с применением этой смеси, составляет 1946,25 т.

двухслойной стержневой смеси с облицовкой на основе хромитового песка – 124 932,4 л (19,46 %), плановое количество литья, изготовленного с применением смеси этого типа, составляет 1022,2 т.

Среднее соотношение облицовочной и наполнительной смесей при существующем способе изготовления двухслойных стержней составляет 30:70. Отсюда масса потребления облицовочной и наполнительной смесей на годовой план составляет: облицовочной смеси на основе дистен-силлиманитового концентрата 172,19 т; облицовочной смеси на основе хромитового песка 101,195 т; наполнительной смеси 467,3 т.

4. Общая трудоемкость изготовления стержней на годовой план составляет 827 087,4 мин (13 784,8 ч), в том числе:

по CO_2 -процессу – 376 788,9 мин (6279,8 ч);

двухслойных с облицовкой на дистен-силлиманите 348 092,7 мин (5801,5 ч);

двухслойных с облицовкой на хромитовом песке 102 205,8 мин (1703 ч).

5. Фактический средний расход углекислоты при изготовлении стержней по CO_2 -процессу составляет 17 кг/т годного литья или в денежном выражении при стоимости углекислоты 1,5 руб./кг – 25,5 руб./т годного литья.

6. Расход электроэнергии на приготовление стержневых смесей (облицовочной и наполнительной) по существующей технологии на бегунах.

Облицовочные смеси готовят на бегунах моделей 1А11М и 111. Среднее время приготовления облицовочной смеси составляет 30 мин, объем загрузки бегунов 400 кг, мощность двигателя бегунов 14 кВт·ч. Отсюда производительность на облицовочной смеси составляет 800 кг/ч.

Наполнительную смесь готовят на бегунах модели 114М мощностью 40 кВт·ч. Время приготовления смеси 30 мин, объем замеса 1 т, производительность 2 т/ч.

Годовой расход электроэнергии по существующей технологии на приготовление облицовочных смесей составляет $14 (106,377 + 101 195)/0,8 = 3633$ кВт·ч, в денежном выражении с учетом стоимости 1 кВт·ч = 0,62 руб. затраты составят $0,62 \times 338,024/2 = 2252,5$ руб.

Расчет по аналогичной схеме для наполнительной смеси дает годовую стоимость электроэнергии 4191,5 руб. Общие затраты на приготовление смесей составляют 6444 руб./год.

Затраты электроэнергии на приготовление смеси по CO_2 -процессу не учитываются, так как они соизмеримы с ее затратами на стержневом автомате фирмы Laetpre. В расчете не учтены также затраты электроэнергии, связанные с транспортировкой стержневых смесей к рабочему месту стерженщиков, кантовкой стержневых ящиков, транспортировкой стержней в сушила и из них, затраты сжатого воздуха на ручное уплотнение стержневых смесей.

7. Расход электроэнергии на сушку и подсушку стержней по существующей технологии.

На данной операции ежедневно одновременно работают по 10 ч два электрических сушила. Количество рабочих дней в году 251, мощность сушила с учетом вентиляторов 388 кВт·ч. Отсюда расход энергии на сушку и подсушку составляет 1 947 760 кВт·ч, что в денежном выражении равно 1 207 611,2 руб.

8. Трудовые и материальные затраты на приготовление стержневых смесей.

Внедрение технологии изготовления стержней по процессам Альфа-сет и Бета-сет на стержневых автоматах фирмы Laempe с циклом изготовления стержней 4 мин с учетом переналадки и смены стержневой оснастки позволит в среднем повысить производительность труда и уменьшить трудоемкость изготовления стержней в 5 раз. Отсюда годовая экономия в денежном выражении с учетом тарифной ставки стерженщицы 4-го разряда и коэффициентов, учитывающих премию, составляет 156 357 руб.

9. Новые технологии изготовления стержней позволят на 50...60 % снизить расход металлопроката, идущего на изготовление каркасов, за счет повышения прочности стержней и ликвидации операции их склеивания из двух половинок. В настоящее время фактически средняя норма расхода металлопроката на изготовление каркасов составляет 13,8 кг/т литья. Стоимость металлопроката 3 руб./кг. Кроме того, уменьшается трудоемкость изготовления каркасов, которая на момент расчета составляет 0,4 ч/т (5,9 руб./т). Общая экономия составляет 25,65 руб./т.

10. Экономия за счет снижения затрат на ремонт и изготовление стержневой оснастки.

Фактические ежемесячные затраты модельного участка на изготовление новой и ремонт старой, в том числе и стержневой оснастки составляют 1705 руб./т литья. Затраты на изготовление дублеров (новых) и ремонт стержневых ящиков составляют 20 % от общих затрат. Отсюда экономия составляет 341 руб./т.

11. Экономия за счет снижения затрат на очистные и обрубные работы по внутренним поверхностям отливок и исключения операции удаления стержней.

Новые составы стержневых смесей полностью исключают операцию удаления стержней из отливок и, соответственно, оборудование, предназначенное для этих целей. Фактически средняя трудоемкость удаления стержней из крупных корпусных отливок составляет 0,77 ч/т или в денежном выражении 11,24 руб./т. С учетом премиальных коэффициентов экономия составляет 1574 руб./т.

Новая технология позволит полностью исключить удаление стержней вручную или пневмомолотком остатков стержней перед барабанами и камерой, а также снизить трудоемкость очистки отливок в очистном оборудовании на 20 % и, соответственно, снизить расход дробы и электроэнергии. Фактически средняя трудоемкость удаления стержней вручную перед дробеметными барабанами и камерой составляет 126 мин/т (2,1 ч/т) или в денежном выражении 33,4 руб./т. Средняя трудоемкость дробеметной очистки составляет 118 мин/т (1,97 ч/т) или в денежном выражении 26 руб./т. Экономия составляет 5,2 руб./т.

Средний фактический расход металлической дроби при очистке отливок в очистном оборудовании составляет 37 кг/т. Стоимость дроби 11,27 руб./кг. Экономия составляет 83,4 руб./т.

Экономия электроэнергии при уменьшении длительности работы очистного оборудования и, соответственно, повышение его производительности составляет $0,62 \times 234,5 \times 0,2 \times 0,6 \times 3890 = 67\,868$ руб. или в пересчете на 1 т 11,6 руб./т., где 234,5 кВт·ч – суммарная мощность энергетических систем всего очистного оборудования; 0,6 – коэффициент загрузки при двухсменной работе оборудования; 3890 – действительный фонд времени работы очистного оборудования в две смены, ч; 0,2 – коэффициент снижения длительности работы очистного оборудования при дробебетной очистке отливок.

12. Экономия за счет снижения трудоемкости при сдаче отливок с учетом уменьшения объемов исправления дефектов сваркой на 30 %.

Фактическая трудоемкость абразивной очистки, исправления сваркой, разделки дефектных мест отливок перед сваркой составляет 349 мин/т (5,8 ч/т) или в денежном выражении 85,58 руб./т. Тогда экономия составит $85,58 \times 0,3 = 26,6$ руб./т. Фактическая норма расхода электродов на заварку дефектов составляет 4,26 кг/т при средней стоимости 1 кг электродов 29,74 руб. Отсюда экономия составляет 38 руб./т.

13. Экономия электроэнергии за счет снижения объема исправления сваркой.

Средний расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла (или на 1,6 кг электродов) составит 6 кВт. Экономия составляет 25,36 руб./т.

14. Экономия за счет уменьшения количества используемого инструмента для выполнения обрубных и зачистных операций на 30 %.

Среднемесячные фактические затраты инструментального цеха на поставку инструмента составят 201,4 руб./т. Отсюда экономия $201,4 \times 0,3 = 60,4$ руб./т.

15. Экономия за счет снижения потерь от брака из-за стержней.

Фактически общий процент брака литья составляет 4,765 %, в том числе стержней – 0,48 %. Средняя производственная стоимость отливок составляет 35 982,26 руб./т. Изготовление стержней по новым процессам полностью исключает брак по вине стержней. Отсюда экономический эффект при стоимости лома на переплав в 1200 руб./т составляет 166,95 руб./т.

16. Экономия за счет повышения массовой и геометрической точности отливок.

По существующей технологии отливки имеют класс точности 13Т в соответствии с ГОСТ 26645–85. Новая технология позволит достигнуть 9–10-го классов точности внутренних литых поверхностей отливок. Разница массовых характеристик классов точности составляет $\pm 3,5$ %. За счет снижения массы отливок благодаря более точным размерам стержней и, соответственно, внутренних размеров отливок экономия составляет 611,7 руб./т. В расчете не учтено снижение трудоемкости обработки резанием за счет повышения геометрической точности

отливок. Также не учтены затраты на амортизационные отчисления, связанные со зданием (сооружением) и оборудованием сталелитейного цеха, которые ежемесячно составляют 41 640 руб.

17. Стоимость стержневой смеси на годовой план по существующей технологии.

Объем смеси по CO_2 -процессу 295,5 т, стоимость 245 845 руб.

Объем облицовочной смеси на основе дистен-силлиманита 179,2 т, стоимость 1 139 712 руб.

Объем облицовочной смеси на основе хромитового песка 101,195 т, стоимость 1 429 227 руб.

Объем наполнительной смеси 467,3 т; стоимость 142 025,76 руб.

Общая стоимость составляет 2 956 911 руб. С учетом затрат электроэнергии на приготовление стержневых смесей, сушку стержней, заработную плату на приготовление смесей, изготовление стержней по старой технологии общая стоимость стержневой смеси на год составляет 4 411 323 руб.

18. Стоимость стержневой смеси на год при изготовлении стержней по новым процессам.

Новая технология позволяет сократить объем стержневых смесей на 20 % за счет выполнения опустошений в стержнях:

на основе кварцевого песка 319 428 руб.;

на основе дистен-силлиманитового концентрата 3 349 191 руб.;

на основе хромитового песка 4 041 584 руб.

Общая стоимость стержневой смеси по процессам Альфа-сет и Бета-сет составляет 7 710 203 руб.

Годовая экономия стержневых смесей по новой технологии по сравнению с затратами на приготовление стержневой смеси и изготовлением стержней по базовой технологии составляет 3 298 880 руб.

Общий ожидаемый годовой экономический эффект составляет 5 152 202 руб.

Предварительная стоимость стержневого оборудования, необходимого для изготовления всей номенклатуры стержней по процессам Альфа-сет и Бета-сет (стержневой автомат с объемом пескометной головки до 50 л, смеситель непрерывного действия производительностью 3 т/ч; вибратор; кантователь) в соответствии с бюджетным предложением фирмы-изготовителя, составляет 18 064 200 руб. Таким образом, расчетный срок окупаемости инвестиционных затрат составляет 3,5 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Жуковский С.С.** Прочность литейной формы. М.: Машиностроение, 1989. 285 с.
2. **Лясс А.М.** Быстротвердеющие формовочные смеси. М.: Машиностроение, 1965. 330 с.
3. **Справочник:** Формовочные материалы и технология литейной формы; под ред. С.С. Жуковского. М.: Машиностроение, 1993. 432 с.
4. **Жуковский С.С.** Экологическая оценка литейных технологий // Изв. вузов. Черная металлургия. 2002. № 9. С. 48–51.
5. **Тепляков С.Д.** Проблема регенерации отработанных смесей по процессам Альфа-сет и Бета-сет // Литейщик России. 2005. № 2. С. 40–42.
6. **Галант Г., Гурный А.** Механическая и термическая регенерация связанных масс // Guss-Ex. 2003. № 1. Р. 6–9.
7. **Johnson C.K.** Phenols in Foundry Waste Sand // Modern Casting. 1981. Vol. 71. № 1. Р. 48–49.

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Жуковский Сергей Семенович

ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩИЕ СВЯЗУЮЩИЕ И СМЕСИ ДЛЯ ЛИТЕЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ И ФОРМ

Редакторы *Р.Ю. Белавенцев, О.Н. Лутовинина, А.П. Лебедева*

Художественный редактор *Т.Н. Галицына*

Технический редактор *Г.Ю. Корабельникова*

Корректор *М.Я. Барская*

Сдано в набор 18.03.09 г. Подписано в печать 02.02.2010 г.

Формат 60×88 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,68. Уч.-изд. л. 15,3.

Тираж 1000 экз. Заказ

ISBN 978-5-94275-499-0



ООО "Издательство Машиностроение",
107076, Москва, Стромынский пер., 4

Отпечатано в ООО «Мэрион»,
119311, Москва, ул. Строителей, 13, корп. 3.