

- для воздушнонаполненных модельных составов – давление запрессовки – 0,15 МПа, длительность выдержки модельного состава в пресс-форме под давлением – 60 с, содержание воздуха в модельном составе – 16...18% (по объёму) для модельных составов типа Р-3, КС-3, КС-5А, КС-5Р и 28...30% для модельных составов типа МВС-15, МВС-3А.

- для модельных составов, не содержащих воздух – давление запрессовки – 0,30 МПа, длительность выдержки модельного состава в пресс-форме под давлением – 300 с.

Схема обмера образца представлена на рис. 5.6.б, а на рис. 5.6,в и рис. 5.6,г представлен общий вид пресс-формы и схема разъёма вставки пресс-формы соответственно.

После извлечения из пресс-формы образец выдерживают на воздухе при температуре 24±1°С, в течение 24 ч, после чего проводят его обмер согласно схеме, представленной на рис. 5.6.б. Обмеру подлежат образцы, не имеющие поверхностных дефектов (слаев, раковин, утяжин и т.п.), коробления и трещин. Обмер образцов проводят с помощью штангенциркуля с точностью не более 0,05 мм.

Расчёт средней величины свободной линейной усадки, при испытаниях того или иного образца, проводят по формулам (в %):

$$\alpha_{\text{М.СР}} = \frac{\alpha_{A1} + \alpha_{A2} + \alpha_{A3}}{3}, \quad \alpha_{AN} = \frac{A_{\text{ПН}} - A_{\text{ОБН}}}{A_{\text{ПН}}} \cdot 100,$$

где α_{A1} , α_{A2} , α_{A3} – коэффициенты свободной линейной усадки модели по размеру A_1 , A_2 и A_3 соответственно (см. рис. 5.6.б), %; $A_{\text{ПН}}$ и $A_{\text{ОБН}}$ – величина N-го размера пресс-формы и модели соответственно, согласно рис. 5.6.б, мм.

За истинную среднюю величину свободной линейной усадки модельного состава (α) принимают среднее арифметическое значение величины $\alpha_{\text{СР}}$ трёх образцов.

Предел прочности при статическом изгибе. Предел прочности модельного состава при статическом изгибе при 18...20°С, как правило, определяют на образцах с размерами 6х6х60 мм. Согласно методике НИИТАвтопрома испытания проводят на машине РМ-3 с использованием реверсора или на любой другой установке, обеспечивающей требуемый уровень точности определения данного параметра по трёхточечной схеме нагружения образца.

Для испытаний модельного состава готовят 8...16 образцов, не имеющих внешних дефектов (коробления, утяжин, царапин, слаев, раковин и пр.) и соответствующих определённой геометрической форме. После испытаний образцы визуально оценивают на наличие раковин и включений в плоскости их разрушения. Результаты испытаний образцов, у которых выявлены внутренние дефекты, не учитывают.

У оставшихся образцов с помощью штангенциркуля (погрешность измерения до 0,05 мм) измеряют фактические размеры поперечного сечения образца в месте излома. Расчёт предела прочности проводят по формуле (МПа):

$$\sigma_{\text{И}} = \frac{M_{\text{Р}}}{W} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (5.7)$$

где $M_{\text{Р}}$ – изгибающий момент, вызванный разрушающей нагрузкой; W – модуль сопротивления изгибу; P – нагрузка, вызывающая разрушение образца; l – расстояние между опорами (см. рис. 4.28); b – толщина образца в месте излома; h – высота образца в месте излома.

После проведения испытаний воздушнонаполненного модельного состава рекомендуется провести определение содержания воздуха в испытанных образцах. Эта необходимость вызвана тем, что значение предела прочности модельного состава, при статическом изгибе, указанное в сертификате качества на каждый конкретный модельный состав предприятия-изготовителем, относится к образцам, содержащим менее 1% (по объёму) воздуха.

Определение твёрдости (пенетрации). Показателем твёрдости модельных составов является глубина проникновения стальной иглы в исследуемый образец модельного состава под действием груза массой 100 г за 10 с. Для испытаний одного модельного состава готовят не менее трёх образцов. Образцы, как правило, имеют цилиндрическую форму, диаметром и высотой не менее 15 мм. Испытания проводят при температуре 18...20°С. Наличие воздуха в испытуемых образцах – недопустимо.

Коэффициент термического линейного расширения ($K_{\text{М}}$). Показателем термического линейного расширения модельных составов является относительное увеличение длины образца при его нагреве на 1°С. Расчёт α_{T} проводят по формуле:

$$K_{\text{М}} = \frac{l_{\text{T}} - l_0}{l_0 \cdot (t_1 - t_0)}, \quad (5.8)$$

где l_{T} , l_0 – длина образца до и после нагрева, соответственно, мм; t_0 , t_1 – температура образца до и после нагрева соответственно, °С.

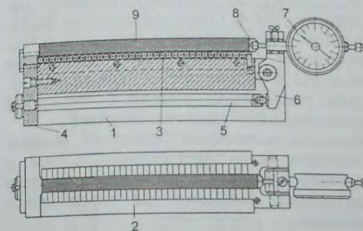


Рис. 5.7. Прибор для определения КТЛР модельного состава

Наиболее точно величину КТЛР определяют в результате проведения dilatометрических измерений. С определённой степенью погрешности величину КТЛР можно определить на приборе конструкции НИИТАвтопрома, схема которого представлена на рис. 5.7.

Поскольку при проведении измерений на данном приборе предполагается нагрев образца испытуемого модельного состава совместно с прибором, то для компенсации термического расширения корпуса 1 в приборе выполнен компенсатор 5 из того же материала, что и корпус прибора.

Для испытаний образец модельного состава укладывают на роликовый конвейер 3 таким образом, чтобы образец одним торцом упирался в стенку 4, а другим торцом в подушку 8, надетую на стержень индикатора часового типа 7. Компенсация расширения корпуса 1 реализуется от компенсатора 5 через рычаг 6.

После установки в прибор испытуемого образца прибор не менее часа выдерживают на воздухе при температуре 18...20°С. После этого прибор с образцом помещают в термостат, стрелку прибора на шкале индикатора выставляют на ноль и проводят ступенчатое повышение температуры в термостате (на 5°С) с выдержкой в течение 30 мин после каждого повышения температуры и последующей регистрацией показаний индикатора.

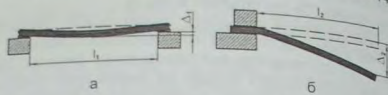
Полученные данные используют для построения зависимости изменения коэффициента термического расширения модельного состава от температуры, например,

от 20°C до 35°C. Вследствие величину КТЛР модельного состава рассчитывают по формуле (5.8).

Определение теплоустойчивости модельных составов. Схемы испытаний образцов модельных составов на теплоустойчивость представлены на рис. 5.8. Для испытаний готовят образцы модельного состава с размерами 6×6×120 мм. Согласно схеме, приведенной на рис. 5.8, а, испытуемый образец укладывают на две опоры, отстоящие друг от друга на расстоянии 100 мм, либо образец закрепляют в опоре консольно, горизонтально (см. рис. 5.8, б).

Теплоустойчивость модельных составов оценивают по величине прогиба испытуемого образца (Δ_1) или величине отклонения конца консольно-закрепленного образца (Δ_2), произошедшего за определенное время при определенной температуре.

Рис. 5.8. Схемы испытаний при определении теплоустойчивости модельных составов



На рис. 5.9 изображен прибор конструкции НИИТАвтопрома, предназначенный для определения теплоустойчивости модельных составов по схеме, представленной на рис. 5.8, а.

Прибор состоит из станины 2, в пазы которой укладывают три образца испытуемого модельного состава 4. После укладки образцов прибор устанавливают в термостат с терморегулятором, обеспечивающим поддержание температуры в термостате с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$. Контроль температуры воздуха в термостате осуществляют с помощью термометра 6.

Методика выполнения испытаний модельных составов на теплоустойчивость состоит в определении величины прогиба образцов после их двухчасовой выдержки при определенной температуре.

В начале испытаний температура воздуха в термостате должна составлять $28 \pm 1^\circ\text{C}$. При данной температуре испытуемые образцы выдерживают в течение двух часов. Через два часа выдержки с помощью миллиметровой линейки 7, подводимой к образцам поворотной

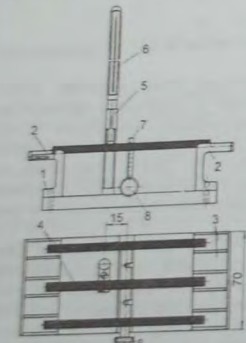


Рис. 5.9. Устройство для определения теплоустойчивости модельных составов

шпилькой 8, определяют величину прогиба образцов.

Если прогиб образцов относительно его исходного положения (при 20°C) не превышает 2-х мм, то температуру воздуха в термостате повышают ещё на два градуса (до $30 \pm 1^\circ\text{C}$) и через два часа выдержки проводят повторное измерение прогиба образцов и т.д. Испытания прекращают после достижения хотя бы в одном образце, величины прогиба $\Delta_1 \geq 2$ мм. Температурой теплоустойчивости считают такую температуру, которая на 1°C ниже температуры, при которой произошла деформация образца на 2 мм.

Определение текучести. Согласно методике НИИТАвтопрома текучесть модельных составов оценивают по длине заполненной в результате запрессовки модельного состава части спиральной полости пресс-формы.

По методике МАТИ текучесть модельного состава оценивают по длине заполненной части цилиндрического канала переменного сечения (см. рис. 5.10).

Согласно рис. 5.10 рабочая полость пресс-формы состоит из четырех сообщающихся между собой, соосно и концентрично расположенных цилиндрических частей равной длины (100 мм), диаметр которых изменяется от 10 до 2 мм. Для запрессовки модельным составом пресс-форму располагают горизонтально. При этом поступление модельного состава в полость пресс-формы осуществляется через рабочую полость пресс-формы большего диаметра.

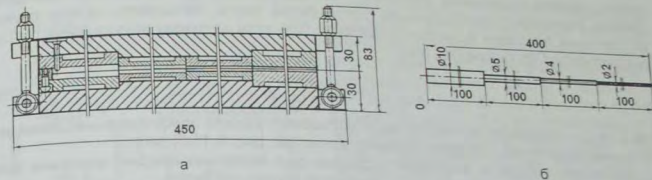


Рис. 5.10. Пресс-форма для определения текучести модельных составов по методике МАТИ (а) и проба-образец (б)

Для определения текучести модельных составов автором разработана кольцевая проба. Схема стальной пресс-формы данной пробы в сборе и вид верхней полуформы снизу представлены на рис. 5.11, а [233].

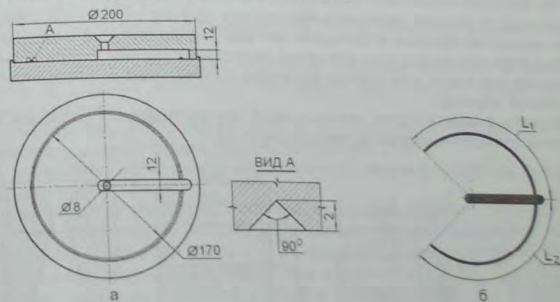


Рис. 5.11. Пресс-форма для определения текучести модельных составов по кольцевой пробе (а) и схема обмера модели кольцевой пробы на текучесть (б)

Конструктивно пресс-форма состоит из верхней и нижней полуформы. В верхней полуформе выполнен кольцевой паз треугольного сечения и радиальный паз сечением 12×12 мм. На одном конце радиального паза выполнено сквозное отверстие (в центре верхней полуформы) для запрессовки модельного состава, другим концом радиальный паз сообщается с кольцевым пазом верхней полуформы.

Запрессовку испытуемого модельного состава в пресс-форму проводят при температуре пресс-формы 25...27°C. Длительность выдержки модельного состава в пресс-форме под давлением, с момента запрессовки, — 10...15 с.

Для проведения сравнительной оценки текучести различных модельных составов рекомендуется запрессовку воздушнонаполненных модельных составов проводить под давлением 0,15±0,01 МПа, запрессовку модельных составов, не допускающих наличия в них воздуха, рекомендуется проводить под давлением 0,30±0,01 МПа. Текучесть модельного состава оценивают по длине заполненной части кольцевого канала модельным составом. При определении длины заполненной части канала учитывают протяженность заполненной части кольцевого канала двумя, встречными потоками модельного состава. При этом величину жидкотекучести ($L_{ж}$) рассчитывают по уравнению (мм):

$$L_{ж} = 0,5 \cdot (L_1 + L_2) \quad (5.9)$$

где L_1 и L_2 — длина заполненной части кольцевого канала пресс-формы встречными потоками модельного состава соответственно (см. рис. 5.11,б), мм.

Величину текучести модельного состава оценивают как среднее значение трёх испытаний, значения которых не различаются более чем на 5%.

Оценка склонности модельных составов к образованию утяжин в моделях

Одним из основных показателей технологичности модельных составов, используемых в литье по выплавляемым моделям, является склонность модельного состава к образованию в моделях утяжин (прогиб, углубление), образующихся, как правило, на плоских поверхностях тепловых узлов моделей в процессе их изготовления. В качестве критерия склонности модельного состава к образованию утяжин в моделях в работе [237] принята максимальная глубина прогиба (Δ) плоской поверхности большего основания образца модельного состава, выполненного в виде усеченного конуса. При этом склонность того или иного модельного состава к образованию утяжин в моделях тем выше, чем больше величина прогиба плоской поверхности большего основания образца.

Схема пресс-формы в сборе, используемой для изготовления образцов, а также её отдельных элементов, представлена на рис. 5.12.

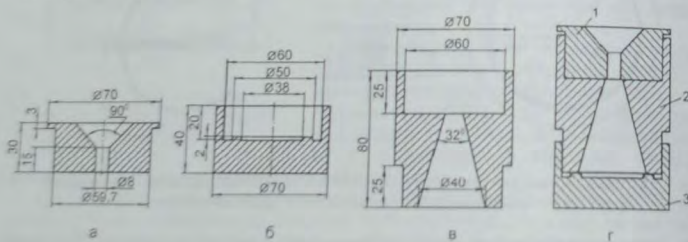


Рис. 5.12. Схема элементов и пресс-формы в сборе

Согласно рис. 5.12 пресс-форма (см. рис. 5.12,г) состоит из следующих элементов: втулки 1 (рис. 5.12,а, г) с калиброванным отверстием, днища 3 (рис. 5.12,б, г) и обоймы 2 (рис. 5.12,в, г). Запрессовка испытуемого модельного состава производится через калиброванное отверстие во втулке, со стороны меньшего основания кону-

сообразной формообразующей полости пресс-формы (см. пресс-форму в сборе на рис. 5.12,г).

Приспособление (см. рис. 5.13,а) для замера глубины утяжины в образце представляет собой индикатор 1 часового типа (ИЧ-2,5) с точностью измерения 0,01 мм, закреплённый с помощью болта на опоре 2. Для фиксации подвижной оси 3 механизма индикатора часового типа используется фиксатор 4.

Калибровку приспособления проводят по эталону, представленному на рис. 5.13,б. Материал пресс-формы, опоры приспособления и эталона — сталь марки 45 (уплучшенная).

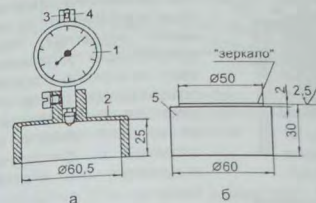


Рис. 5.13. Схема приспособления (а) и эталона (б)

Изготовление образцов и проведение измерений. Для изготовления образцов формообразующие поверхности пресс-формы смазывают раствором веретенного или индустриального масла с керосином или этиловым спиртом, собирают пресс-форму (см. рис. 5.12,г) и запрессовывают в нее при определенных параметрах испытуемый модельный состав, находящийся в пастообразном состоянии. После затвердевания, образец извлекают из пресс-формы и укладывают конической поверхностью на металлический стол или поддон. Дальнейшее охлаждение образца проходит на воздухе в течение не менее 5 ч, после чего проводят замер глубины

образовавшейся в нём утяжины.

С целью обеспечения сходимости результатов измерений в различных лабораториях рекомендуется:

1 — запрессовку испытуемого модельного состава проводить в пастообразном состоянии, в "рабочем" интервале температур, принятом для каждого конкретного модельного состава;

2 — температура в помещении, в котором проводят испытания, а также начальная температура пресс-формы, должна составлять 23±2°C;

3 — запрессовку испытуемого модельного состава в пресс-форму проводить с интервалом не менее 15 мин;

4 — запрессовку модельного состава, в который, согласно принятому на предприятии технологическому процессу, замешивают воздух (модельные составы типа ПС, Р-3, КС-5Р, КС-5А, МВС-3А и т.п.), проводить под давлением $P=0,14\pm0,01$ МПа с выдержкой под давлением в пресс-форме в течение $t_p=6\pm 1$ с. После снятия давления образец выдержать в пресс-форме в течение $t=60\pm 2$ с и извлечь из пресс-формы;

5 — модельные составы, не допускающие присутствия воздуха в моделях (модельные составы типа ВИАМ-102, КС-107-С, КС-107-Б, КС-111 и т.п.), следует запрессовывать при давлении $P=0,35\pm0,01$ МПа, с выдержкой под давлением в течение $t_p=90\pm 2$ с. После снятия давления образец дополнительно выдержать в пресс-форме в течение $t_p=5\pm 2$ с и извлечь его пресс-формы.

После охлаждения образцов на воздухе в течение не менее 5 ч визуально оценивают качество их поверхности и отбраковывают образцы, пригодные для проведения испытания. К испытанию допускаются образцы с гладкой поверхностью, не имеющие внешних дефектов, за исключением утяжины на их большем основании.

Для проведения измерения глубины утяжин в образце (см. рис. 5.14, а) пресс-форму устанавливают на горизонтальную поверхность дном вверх, снимают днище и втулку, а охлажденный испытуемый образец 1 помещают в обойму 3 пресс-формы (см. рис. 5.14, б).

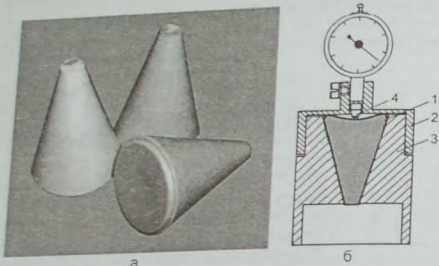


Рис. 5.14. Общий вид образцов (а) и схема проведения замера глубины утяжины в образце (б)

собрание снимают с зеркала эталона и устанавливают на обойму 3 приспособления вместо дна. После установки приспособления 2 подвижную ось индикатора боддают от зажима фиксатора. В результате этого шуп 4 подвижной оси индикатора приходит в соприкосновение с поверхностью образца 1. По отклонению стрелки от нулевой отметки на шкале индикатора определяют глубину утяжины в образце (Δ).

У образцов из воздушнонаполненных модельных составов (Р-3, МВС-3А, КС-5А и т.п.) после проведения испытаний в обязательном порядке следует определить содержание воздуха и построить графическую зависимость глубины утяжины от содержания воздуха в образцах. За результат принимается глубина утяжины при содержании воздуха в образце 12% (по объему), определенная на основании графической зависимости.

Построение графической зависимости рекомендуется выполнить по результатам определения глубины утяжин в 10-ти (не менее) образцах. Если разброс значений глубины утяжин в образцах настолько велик, что графическое построение зависимости не представляется возможным, то за истинное принимают среднее арифметическое значение всех проведенных испытаний независимо от содержания воздуха в образцах.

В том случае, если содержание воздуха в полученных образцах составляет $12 \pm 0,5\%$, то вычисление глубины утяжины в модельном составе проводят по результатам замеров не менее чем в 5-ти бездефектных образцах. При этом измерения проводят на 7-ми (не менее) образцах, а при вычислениях наибольший и наименьший результат измерений величины утяжин в исследуемых образцах не учитывают.

Аналогичным образом (не менее чем по 5-ти бездефектным образцам) вычисляют среднеарифметическое значение глубины утяжины для образцов из модельных составов, не допускающих присутствие воздуха в моделях (ВИАМ-102, КС-107-Б и т.п.).

Следует отметить, что после охлаждения большее основание конуса приобретает, как правило, вогнутую, реже — выпуклую форму. В случае выпуклой формы поверхности большего основания конуса (поверхность большего основания образца

Непосредственно перед проведением каждого измерения приспособление калибруют. Для калибровки подвижную ось механизма индикатора освобождают от зажима фиксатора, приспособление устанавливают на зеркало эталона, поворачивают шкалу индикатора до совмещения ее нулевой отметки со стрелкой и фиксируют подвижную ось индикатора.

В таком состоянии (см. рис. 5.14, б) приспособление

при этом, как правило, покрывается трещинами) модельный состав классифицируют, как имеющий показатель $\Delta=0$, то есть данный модельный состав не склонен к образованию утяжин в моделях.

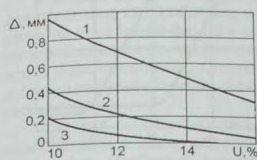


Рис. 5.15. Зависимость глубины утяжины в модели от содержания воздуха в модельном составе

$\Delta=0,23$ мм, а модельный состав МВС-3А — $\Delta=0,69$ мм.

То есть, при всех прочих равных условиях, модельный состав МВС-3А наиболее склонен к образованию утяжин в моделях. Поэтому для предупреждения образования утяжин в моделях, изготавливаемых из состава МВС-3А, в него следует замешивать большее количество воздуха.

Если экстраполировать кривую (1), представленную на рис. 5.15, то можно определить, что для получения моделей из состава МВС-3А без утяжин ($\Delta=0$) содержание воздуха в данном модельном составе следует увеличить до 22...25%.

Используя вышеприведенную методику, определили склонность к образованию утяжин в моделях из состава КС-107-Б. Запрессовку модельного состава проводили при температуре 65...67°C.

В результате проведенных исследований установлено, что глубина утяжины (величина склонности образования утяжин) в образцах, изготовленных из модельного состава КС-107-Б, составляет $\Delta=0,14$ мм.

На основе вышеизложенной методики исследовали влияние некоторых технологических параметров получения моделей на величину утяжин (Δ) в образцах-моделях, изготовленных из модельного состава КС-107-Б.

На рис. 5.16...рис. 5.18 представлены, соответственно, зависимости влияния на глубину утяжин в образцах модельного состава — давления запрессовки модельного состава в пресс-форму (Р), длительности охлаждения модели в пресс-форме после окончания прессования модельного состава (t), диаметра отверстия для запрессовки модельного состава (D) во втулке пресс-формы.

В исследованиях использовали модельный состав КС-107-Б (на рисунках обозначен № 1) в состоянии поставки и состав КС-107-Б (на рисунках обозначен № 2) с 35% (по

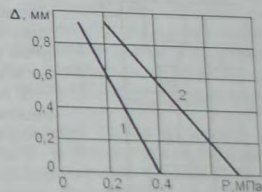


Рис. 5.16. Влияние давления запрессовки модельного состава в пресс-форму на глубину утяжины в модели

массе) карбамида (твёрдого наполнителя). Запрессовку модельных составов проводили при 65...68°C.

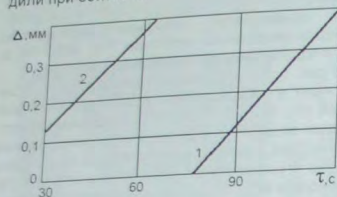


Рис. 5.17. Влияние длительности охлаждения модели в пресс-форме на глубину утажины в модели

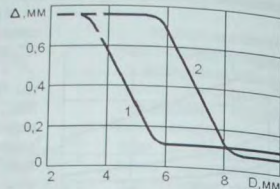


Рис. 5.18. Зависимость глубины утажины в модели от диаметра запрессовочного отверстия в пресс-форме

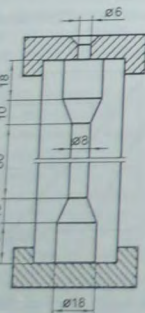
Анализ зависимостей, представленных на рис. 5.16...рис. 5.18, показывает, что глубина утажины в моделях, изготовленных из модельного состава КС-107-Б не содержащего воздух, понижается с увеличением давления запрессовки (см. рис. 5.16), с уменьшением длительности охлаждения модели в пресс-форме (см. рис. 5.17), а также с увеличением диаметра запрессовочного отверстия в пресс-форме и, соответственно, площадью поперечных сечений литниковых ходов (см. рис. 5.18).

Оценка склонности модельных составов к образованию трещин в моделях. Одним из важнейших технологических параметров модельного состава является его трещиностойкость. Необходимости оценки данного параметра может быть обусловлена как нестабильностью, от партии к партии, технологических свойств используемого модельного состава, так и необходимостью использования возврата модельного состава, а также приготовлением комбинированного модельного состава путём сплавления в определённых пропорциях различных модельных составов, применяемых в цехе.

В литейном цехе, как правило, оценку трещиностойкости того или иного модельного состава оценивают непосредственно по результатам визуального контроля 4...5 моделей наименее технологичной отливки, изготовленных из испытываемого модельного состава. Визуальный контроль изготовленных моделей проводят через 24 ч с момента их извлечения из пресс-формы.

Склонность модельного состава к образованию трещин в моделях также оценивают на специальном образце, который изготавливают в алюминиевой пресс-форме (см. рис. 5.19), предварительно нагретой до 30...35°C [217]. Для заполнения пресс-формы расплав испытываемого модельного состава нагревают до 95...100°C, после чего, путём свободной заливки заливают его через литниковое

Рис. 5.19. Пресс-форма для определения трещиностойкости модельного состава



отверстие, расположенное в крышке пресс-формы на торцевой части образца. При необходимости, по мере понижения уровня расплава в литниковом отверстии, в него доливают новые порции расплава.

После затвердевания модельного состава в литниковом отверстии, пресс-форму не менее чем на 20 мин помещают в воду с температурой 18...20°C. Трещиностойкость модельного состава считают высокой, если в охлажденном образце в результате визуального осмотра трещины не обнаружены.

В случае, если в образце трещины обнаружены, по вышеописанной технологии отливают ещё один образец, с той лишь разницей, что охлаждение образца проводят в течение не менее 1,5 ч на воздухе при комнатной температуре. Если в результате визуального контроля трещины на образце не обнаружены — трещиностойкость модельного состава считают удовлетворительной. Соответственно, при обнаружении трещин в модельном составе его трещиностойкость считают неудовлетворительной.

Практика работы с модельными составами показывает, что поведение модельных составов в плане образования трещин в моделях отливок может быть самым различным. Например, модельный состав, не склонный к образованию трещин в моделях самой различной конфигурации и размеров, не содержащих стержней (керамических, графитовых или водорастворимых), в то же время склонен к растрескиванию в моделях, имеющих стержни.

Оценить склонность того или иного модельного состава к образованию трещин в моделях отливок, содержащих керамический, графитовый или водорастворимый стержень, автор рекомендует по следующей методике [233].

Испытуемый модельный состав расплавляют и повышают его температуру на 50...80°C выше температуры перехода расплава из вязкопластичного (пастообразного) состояния в жидкое. После этого в стальную эмалированную кружку (диаметром 80...100 мм и объемом 200...300 см³) наливают 80...120 см³ расплава и начинают его охлаждать. Охлаждение расплава осуществляют на воздухе путём его медленного перемешивания вручную, например, с помощью лопатки или ножа со скруглённым кончиком лезвия. Не допуская замешивания воздуха, перемешивание модельного состава осуществляют до момента его перехода (оценивают визуально) в пастообразное состояние.

Перемешивание прекращают, как только модельный состав приобретёт пастообразное состояние во всём объёме. По окончании перемешивания с помощью лопатки (ножа) следует выравнивать свободную поверхность модельного состава в кружке, придав ей форму, близкую к плоской.

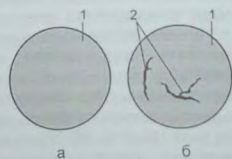


Рис. 5.20. Вид поверхности затвердевшего модельного состава: 1 — поверхность модельного состава; 2 — трещины

В кружке модельный состав охлаждают на воздухе при комнатной температуре не менее 3 ч, после чего визуально оценивают поверхность затвердевшего модельного состава. В случае, если на поверхности затвердевшего модельного состава трещин нет (см. рис. 5.20, а), то такой модельный состав не склонен к образованию трещин в моделях, содержащих стержни. Появление трещины (трещин) на поверхности модельного состава в кружке (см. рис. 5.20, б) свидетельствует о том, что данный состав склонен к образованию трещин и в моделях, содержащих стержни.

Определение содержания воздуха в модельных составах, запрессованных в пресс-форму в пастообразном состоянии. Наиболее распространённым методом определения содержания воздуха в модельном составе является метод, основанный на определении разницы объёмов образца, полученного из пастообразного со-

стояния модельного состава и этого же, но твёрдого монолитного образца, полученного в результате его расплавления и последующего охлаждения [166].

Определение прочих характеристик модельных составов. В случае необходимости, помимо вышеописанных параметров и свойств, в литейных цехах определяют и другие параметры модельных составов. В частности зольность модельных составов определяют в соответствии с ГОСТ 1461-75, коксуемость — в соответствии с ГОСТ 8852-74, температуру плавления — в соответствии с ГОСТ 4255-75, кислотное число — в соответствии с ГОСТ 5985-79, число омыления — в соответствии с ГОСТ 21749-76, температуру каплепадения — в соответствии с ГОСТ 6793-74; стойкость модельного состава к его взаимодействию со связующим раствором огнеупорной суспензии — по методике НИИТАвтопрома и пр.

За рубежом [86], помимо всего прочего, контролируют вязкость модельных составов, а также контролируют модельные составы на регенерируемость.

5.6. Изготовление моделей

Как было отмечено выше, в литье по выплавляемым моделям для изготовления моделей используют модельные составы, изначально находящиеся в твёрдом, жидком или пастообразном состоянии. Выбор состояния модельного состава для изготовления моделей зависит от требований к их качеству, сложности модели, требуемого количества моделей и т.д.

Тем не менее, если модель имеет керамический

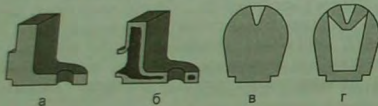


Рис. 5.21. Разрезы монолитной прессованной (а), пустотелой литой (б), монолитной механически обработанной (в) и пустотелой сборной (г) модели

Изготовление моделей из твёрдого модельного состава. Для изготовления моделей из твёрдых модельных составов используют преимущественно модельные составы общемашиностроительного назначения типа ПС, Р-3, КС-5Р и т.п.

Наиболее известным способом изготовления моделей из твёрдого модельного состава является способ УСОВМ — универсальный способ обработки выплавляемых моделей. Способом УСОВМ из твёрдого модельного состава изготавливают, в основном, единичные модели отливок, например, предназначенные для ремонтных целей, или элементы ЛПС при обработке её конструкции для сложной нетехнологичной отливки в условиях опытного или единичного производства и т.п. Для изготовления моделей данным способом не требуются пресс-формы, что является большим достоинством данного способа.

Модели из твёрдого модельного состава изготавливают по аналогии изготовления металлических или деревянных деталей, путём механической обработки литой заготовки модельного состава, с использованием тех же сверлильных и фрезерных станков. В качестве режущего инструмента используют сверла по дереву и металлу, лепестковые фрезы собственного производства и т.п. При этом модели вырезают из литой, предварительно размеченной заготовки модельного состава, имеющей, на-

пример, форму плиты с размерами 400×500×(50...150) мм. Заготовки плит отливают в стальные или алюминиевые изложницы (см. рис. 5.22).

Для изготовления модели механической обработкой на поверхности заготовки с помощью иглы, линейки, лекала или циркуля наносят контуры будущей модели (см. рис. 5.23). Размеченную заготовку устанавливают и закрепляют на столе соответствующего станка, после чего проводят соответствующую механическую обработку.

Мелкие модели, как правило, вырезают целиком из одной заготовки. Крупные модели вырезают по частям, с последующим сплаиванием отдельных частей.

Данный способ изготовления моделей особенно эффективен при обработке элементов ЛПС сложной конструкции, поскольку позволяет оперативно выполнять практически любые конфигурационные изменения моделей прибелей, литников, моделей для изготовления холодильников и др. Недостатком данного метода является невозможность изготовления сложнопрофильных моделей, а также низкая размерная точность и чистота поверхности изготавливаемых моделей. Помимо этого, следует отметить крайне низкую производительность и трудоёмкость изготовления моделей данным способом.

Существенным недостатком данного способа также является использование модельного состава в литом состоянии, что значительно повышает вероятность образования трещин в КО в процессе выплавления из неё модельного состава.

Другим известным способом изготовления выплавляемых моделей из твёрдого модельного состава является способ холодного прессования (формования) порошкообразного модельного состава в закрытых пресс-формах с одно- или двусторонним приложением нагрузки. Технология получения деталей методом холодного прессования из металлических порошков.

Одностороннее прессование применяют при изготовлении моделей относительно простой формы типа колец или втулок, при соотношении высоты модели к диаметру, как правило, не более двух-четырёх. Двустороннее прессование используют при изготовлении моделей с повышенным значением отношения высоты к диаметру, более сложных по конфигурации.

Для изготовления моделей данным способом порошкообразный модельный состав засыпают в пресс-форму, после чего его уплотняют в результате перемещения одного (одностороннее прессование) или двух (двустороннее прессование) подвижных пуансонов. На рис. 5.24 представлена схема основных этапов изготовления моделей на прессе с односторонним прессованием, а на рис. 5.25 — общий вид некоторых моделей отливок, получаемых методом холодного прессования.

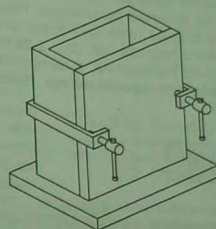


Рис. 5.22. Изложница для изготовления слитков модельного состава

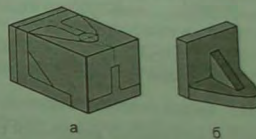


Рис. 5.23. Общий вид размеченной заготовки (а) и модели отливки, выточенной из заготовки (б)

Согласно схеме, представленной на рис. 5.24, а, порошкообразный модельный составом 2 заполняют рабочее пространство пресс-формы 3. При этом выталкиватель модели 4 находится в крайнем нижнем положении, а пуансон 1 в крайнем верхнем положении. После заполнения рабочей полости порошкообразным модельным составом проводят процесс прессования модели, для чего пуансон опускают вниз, в нижнее крайнее положение. Перемещение пуансона внутри рабочего пространства пресс-формы приводит к механическому сжатию и слипанию частиц порошка модельного состава (см. рис. 5.24, б). По окончании прессования пуансон возвращают в исходное положение, а выталкиватель проводит выталкивание прессовки (модели) из рабочего пространства пресс-формы, что схематично представлено на рис. 5.24, в.

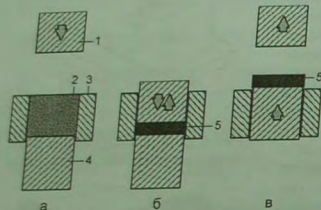


Рис. 5.24. Схема изготовления моделей методом прессования порошка

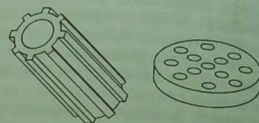


Рис. 5.25. Общий вид некоторых моделей, полученных методом прессования порошка

Порошкообразный модельный состав получают непосредственно в литейном цехе путём распыления жидкого модельного состава струёй сжатого воздуха.

Прессование моделей из порошкообразного модельного состава позволяет получать модели с высокой чистой поверхности и исключительно высокой и стабильной размерной точностью. Существенным недостатком данного метода является относительно невысокая прочность моделей и ограниченность номенклатуры моделей простыми по конфигурации деталями.

В настоящее время способ получения выплавляемых моделей методом прессования порошкообразного модельного состава промышленного распространения в отечественной практике не нашёл.

Изготовление моделей из жидкого модельного состава. Модели из жидкого модельного состава изготавливают преимущественно методом свободной заливки, методом всасывания или методом запрессовки расплава в пресс-форму. При этом модели отливок могут быть как монолитными, так и пустотелыми. Модели несущих элементов ЛПС изготавливают только монолитными.

Для изготовления моделей данными способами, в основном, используют модельные составы с низкой величиной кинематической вязкости при 100°C. Как правило, это модельные составы типа ПС, Р-3, КС-5Р, КС-5А, КС-107-С, ВИАМ-102, В-1 и др.

Для изготовления моделей методом свободной заливки (без допрессовки) модельного состава используют формы из самых различных материалов (сталь, гипс, алюминиевые и цинковые сплавы и т.п.), которые после сборки заливают жидким модельным составом и выдерживают его до полного затвердевания. В отличие от

пресс-форм, для удобства заполнения жидким модельным составом, наливные формы закрытого типа, используемые для свободной заливки модельным составом, имеют значительно большее поперечное сечение литникового хода, что схематично представлено на рис. 5.26.

Процесс изготовления моделей свободной заливки жидкого модельного состава без допрессовки включает следующие технологические операции: очистку формы от остатков модельного состава с помощью ворсовой щётки и обтирочной ветоши; смазывание рабочей полости формы трансформаторным маслом с помощью марлевого тампона (в случае использования гипсовой формы, её предварительно пропитывают водой); сборку формы; заливку жидкого модельного состава в форму с помощью металлического ковши или кружки; выдержку расплава модельного состава до его полного затвердевания; разборку формы, извлечение и охлаждение модели на воздухе при 22...26°C в течение не менее 12 ч; зачистку модели с помощью ланцета или специального ножа и, при необходимости, ремонт с использованием подложки и подмазки.

Для изготовления моделей данным способом расплав заливаемого в форму модельного состава перегревают на 20...50°C выше температуры его плавления. Выдержку модельного состава в форме осуществляют до его полного затвердевания. В некоторых случаях, с целью понижения усадки и повышения трещиностойкости, в модельный состав добавляют 10...60% (по массе) твёрдого наполнителя, например, карбамида. Непосредственно перед заливкой жидкий модельный состав с твёрдым наполнителем интенсивно перемешивают и как можно быстрее заливают в форму.

При получении крупногабаритных моделей отливок в гипсовой форме, с целью снижения величины усадки модели, гипсовую форму пропитывают тёплой водой, а модельный состав, перегретый на 5...15°C выше температуры его плавления, наносит на поверхность гипсовой формы вручную, послойно с помощью широкой кисти.

В случае изготовления крупногабаритных моделей элементов ЛПС используют наливные формы открытого типа, не имеющие литниковых ходов. В качестве примера на рис. 5.27 представлен разрез наливной формы, предназначенной для изготовления модели ЛЧ. Модель в наливной форме изготавливают либо путём её заполнения жидким модельным составом и его последующим затвердеванием в форме, либо путём периодического наполнения и слива жидкого остатка модельного состава из формы. В последнем случае послойное затвердевание модельного состава в форме не только сокращает время изготовления модели, но и позволяет получать модели без трещин и утяжин.

За рубежом методом свободной заливки получают модели не только из всевозможных модельных составов, но и из легкоплавких металлических сплавов и ртути. При получении моделей из легкоплавкого металлического сплава рабочие поверхности формы, как правило, не смазывают разделительной смазкой либо в качестве смазки используют масло (трансформаторное, веретённое, машинное и т.п.). Заливку расплава легкоплавкого металлического сплава в форму осуществляют при перегреве расплава на 20...50°C выше температуры ликвидуса сплава. При необходимости перед заливкой форму нагревают до температуры 30...60°C.

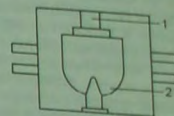


Рис. 5.26. Полуформа наливной формы закрытого типа. 1 - рабочая полость; 2 - литник



Рис. 5.27. Разрез наливной формы

Ртутные модели получают путем заливки ртути при комнатной температуре в формы, предварительно заполненные ацетоном. В процессе заполнения формы, ртуть, как жидкость с более высокой плотностью, вытесняет ацетон, который, удаляясь из формы, выполняет функции смазочного материала рабочих поверхностей формы. Использование ацетона предотвращает впоследствии примерзание ртутной модели к рабочей поверхности формы, поскольку исключает наличие адсорбированной влаги на поверхности раздела формы и ртути.

По окончании заполнения ртутью форму погружают в ванну с ацетоном и добавляют в ацетон определенное количество "сухого льда" (твёрдой углекислоты). Поскольку процесс растворения "сухого льда" в ацетоне носит эндотермический характер, то температура ацетон-углекислотного раствора понижается до $-60...-78^{\circ}\text{C}$. При этом, вместе со смесью охлаждается и форма, и залитая в неё ртуть. Достигнув температуры $-38,87^{\circ}\text{C}$, ртуть кристаллизуется. По окончании кристаллизации ртутную модель извлекают из формы, не допуская повышения температуры модели выше $(-45)^{\circ}\text{C}$.

В связи с низкой линейной усадкой ртути и её высокими механическими свойствами в твёрдом состоянии (уровень механических свойств твёрдой ртути аналогичен уровню аналогичных механических свойств свинца при 20°C) использование данной технологии позволяет получать особо сложные, ажурные модели деталей самого различного назначения. Например, детали радиолокационных установок, турбинные лопатки, крыльчатки, уникальный режущий инструмент [153].

Рассматривая известные способы изготовления моделей из жидких воскоподобных модельных составов, следует отметить, что получение моделей особо сложных отливок иногда осложняется тем, что процесс заполнения рабочих полостей пресс-формы жидким модельным составом сопровождается турбулизацией его потоков и вспениванием. В результате этого в модели образуются воздушные пузыри, присутствие которых, в ряде случаев, недопустимо. Во избежание вспенивания жидкого модельного состава, поступают следующим образом. Жидкий модельный состав подают в предварительно вакуумированную пресс-форму, где он затвердевает в условиях вакуума. При этом подвод расплава в пресс-форму осуществляют путём его всасывания из нагревательного бака по специальному трубопроводу, обеспечивая заполнение рабочих полостей пресс-формы расплавом снизу вверх.

Обеспечение плавного заполнения полостей пресс-формы расплавом модельного состава предотвращает образование в моделях воздушных пузырей, улучшает качество поверхности модели, но не позволяет избежать образования в моделях утяжин.

В случае получения моделей из расплава с допрессовкой жидкого модельного состава на заливочное отверстие пресс-формы устанавливают стальной стакан и через отверстие в днище стакана методом свободной заливки заполняют пресс-форму жидким модельным составом. Объём стакана выбирают таким, чтобы оставшейся в нём части модельного состава, после заполнения пресс-формы, хватило на компенсацию усадки затвердевающего в пресс-форме расплава. Допрессовку в этом случае, выполняют непосредственно после окончания заполнения пресс-формы жидким модельным составом. Давление допрессовки выбирают максимально возможным для используемого пресса, но таким, чтобы жидкий модельный состав не просачивался по плоскостям смыкания объёмных частей пресс-формы. Выдержку моделей под давлением проводят до полного затвердевания модельного состава в пресс-форме.

С целью обеспечения полного заполнения узких полостей пресс-формы, а также для предупреждения вспенивания жидкого модельного состава при заливке в пресс-форму и образования в моделях утяжин, используют способ изготовления моделей,

сочетающий заполнение и затверждение жидкого модельного состава под давлением в предварительно вакуумированной пресс-форме.

На рис. 5.28 представлена схема установки, на которой реализован вышеописанный способ получения моделей [153]. Для получения модели подготовленную пресс-форму 1 (см. рис. 5.28) устанавливают на стол 2, совмещая отверстие в плите 3 и запрессовочное отверстие в пресс-форме. Установленную пресс-форму поджимают к плите 3 установкой с помощью штока пневмоцилиндров 5. Герметичность стыка плиты и кожууха обеспечивает резиновая прокладка, находящаяся между ними.

Со стороны запрессовочного отверстия в плите герметичность системы обеспечивает скользящий клапан 8, совмещённый с запрессовочным устройством 7.

Перед запрессовкой (см. рис. 5.28), через патрубок 6, из пространства под кожухом установки, проводят откачку воздуха. По окончании создания разрежения в пространстве под кожухом, проводят запрессовку жидкого модельного состава в пресс-форму, через запрессовочное устройство 7. Для этого, вдоль плиты 3, приводят в движение скользящий клапан 8 до совмещения каналов запрессовочного устройства 7 и отверстия в плите установки. В результате, заполнение пресс-формы расплавом модельного состава происходит под давлением в вакуумированную пресс-форму. Данный способ позволяет получать сложные, тонкостенные модели без поверхностных дефектов и с относительно высокой размерной точностью.

Монолитные модели отливок из жидкого модельного состава изготавливают крайне редко, в связи с повышенной склонностью большинства модельных составов к образованию в моделях утяжин. Кроме того, изготовление монолитных моделей из жидкого модельного состава существенно повышает усадку моделей, увеличивает цикл их изготовления и повышает опасность образования трещин в КО при выплавлении из них модельного состава.

В значительно меньшей степени вышеперечисленными недостатками обладают пустотелые модели. Для изготовления пустотелых моделей из жидкого модельного состава используют два способа: без удаления жидкого модельного состава из формы и с удалением жидкого остатка модельного состава из формы.

Способ изготовления пустотелой модели без удаления жидкого модельного состава из формы состоит в том, что в форму заливают жидкий модельный состав, перегретый до определённой температуры. После этого заливочное отверстие формы заглушают, а форму начинают медленно вращать во всех плоскостях до полного затвердевания модельного состава в ней. При этом количество модельного состава, залитого в форму, составляет $10...30\%$ от объёма внутренней полости формы.

В процессе вращения формы залитый в неё модельный состав, контактируя со всеми её внутренними поверхностями, теряет теплоту перегрева и, затвердевая, образует сплошную корочку толщиной $3...7$ мм.

Для изготовления пустотелых моделей отливок можно использовать стэнд (см. рис. 5.29), на котором предварительно подготовленную форму закрепляют во вра-

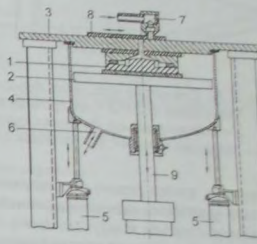


Рис. 5.28. Схема установки для изготовления моделей методом допрессовки модельного состава под давлением в вакуумированную пресс-форму

щающихся рамок 2 и 3 зажимным болтом 1 и заливает её соответствующим количеством расплава. После заливки закрывают заливочное отверстие формы заглушкой 5 и вручную медленно вращают форму во всех плоскостях до полного затвердевания и охлаждения залитого в форму расплава.

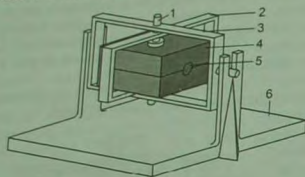


Рис. 5.29. Стенд для вращения пресс-формы:
1 – зажимной болт; 2 – внутренняя рама,
3 – внешняя рама; 4 – пресс-форма,
5 – заглушка литника; 6 – чугунная станина

свободного слива через специально выполненное отверстие, образующее в результате удаления одной из стенок питателя модели, или путём принудительного выдувания сжатым воздухом через специальное технологическое отверстие, выполненное в затвердевшей корочке модельного состава тела модели.

К числу способов получения выплавляемых моделей из жидкого модельного состава без применения каких-либо пресс-форм относится FDM-технология (Fused Deposition Modeling – одна из технологий быстрого прототипирования).

FDM-технология – это технология «выращивания» моделей (прототипов) деталей любой степени сложности из легкоплавких материалов, в том числе и из жидкого модельного состава. FDM-технология предполагает изготовление моделей (прототипов) деталей путём послойного нанесения (за счёт выдавливания) жидкого модельного материала из фильеры сечением 50...200 мкм на поверхности стола. При этом фильера перемещается в горизонтальной плоскости по строго заданной компьютером программе и «вырисовывает» одно за другим сечение модели детали из жидкого модельного материала, который тут же затвердевает. После получения первого слоя (сечения детали) стол, на котором выращивается модель, опускается на толщину этого слоя (0,1...1,0 мм), и на поверхность первого слоя наносят второй слой модельного состава для создания второго горизонтального сечения модели, и т.д.

Проводя последовательно-послойное формообразование, «выращивается» так называемая 3D-модель детали. Использование данного способа изготовления моделей характеризуется низкой производительностью, достаточно высокой точностью размеров моделей, отсутствием какого-либо рода дефектов на поверхности модели, высокой чистотой поверхности, расположенных вертикально или горизонтально, в период «выращивания» модели, и весьма высокой шероховатостью наклонных поверхностей (см. рис. 5.30).



Рис. 5.30. Схема разреза модели, изготовленной по FDM-технологии (на рисунке модель расположена также, как и во время её «выращивания»)

В настоящее время FDM-технология используется только для изготовления единичных моделей особо ответственных литых деталей на стадии отработки их конструкции.

Изготовление моделей из пастообразного модельного состава. Способ изготовления монолитных моделей из пастообразного модельного состава в настоящее время нашел самое широкое распространение в цехах литья по выплавляемым моделям. Изготовление модели в данном случае осуществляют путём запрессовки пастообразного модельного состава в пресс-форму с последующей определённой выдержкой запрессованного модельного состава в пресс-форме для охлаждения модели.

Обобщённая схема изготовления моделей из пастообразного модельного состава представлена на рис. 5.31.

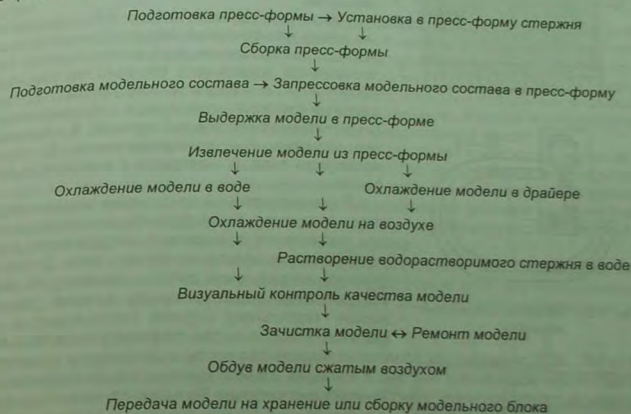


Рис. 5.31. Схема изготовления моделей из пастообразного модельного состава

Подготовка воздушнонаполненного модельного состава и изготовление из него моделей. Приготовление пастообразных воздушнонаполненных модельных составов осуществляют вручную либо на механизированных установках, оснащённых, как правило, лопастными или шестерёнчатыми смесителями.

Приготовление модельных составов вручную осуществляют в условиях единичного и мелкосерийного производства литья. Для приготовления пастообразного модельного состава вручную, модельный состав расплавляют в стальной или алюминиевой ёмкости и перегревают на 30...50°C выше температуры его запрессовки. После полного расплавления кусков модельного состава в расплав вводят определённое количество твёрдого измельчённого модельного состава, например, в виде стружки или порошка. Полученную смесь вручную (руками – для составов типа ПС, или с помощью лопатки – для других марок модельного состава) перемешивают до получения однородной пастообразной массы. В процессе перемешивания жидкая часть модельного состава охлаждается до пастообразного состояния, а твёрдая

часть модельного состава (стружка) нагревается и, отбирая теплоту перегрева от расплава, также приобретает пастообразное состояние.

Ручное перемешивание модельного состава, сопровождающееся непроизвольным захватыванием пузырьков воздуха в модельный состав, не позволяет достичь высокой однородности приготовленного модельного состава. В результате этого модели, полученные из таких модельных составов, характеризуются достаточно большими отклонениями размеров от их номинальных значений и невысокой чистотой поверхности.

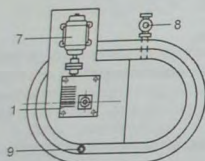
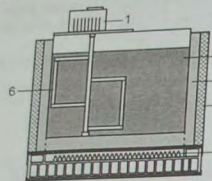


Рис. 5.32. Схема механической мешалки

на 10...20°C температуру плавления модельного состава, доливают в мешалку.

Подготовка модельного состава в мешалке данной конструкции, по сравнению с подготовкой состав вручную, обеспечивает значительно большую однородность подготовленного модельного состава, однако, как и в случае подготовки модельного состава вручную, не позволяет регулировать количество воздуха, замешанного в модельный состав.

Значительного повышения качества подготовки модельного состава и, соответственно, качества моделей достигают при механизированной подготовке состава с использованием шестеренчатого смесителя конструкции завода "Прожектор", схема которого представлена на рис. 5.33. Шестеренчатый смеси-

тель (см. рис. 5.33) состоит из водослаждаемого корпуса, внутри которого расположены два параллельных вала с десятью парами шестерён. Каждая из шестерён (на одном валу) находится в зацеплении с соответствующей шестерней на другом валу и отделена от неё стальной перегородкой. В каждой паре одна из шестерён свободно посажена на вал, а другая - на шпонку. В соседней паре осуществлена обратная посадка шестерён. В каждой последующей паре ширина шестерён постепенно уменьшается в направлении движения модельного состава от заливочного отверстия до выходного патрубка смесителя. Именно за счёт постепенного уменьшения толщины смежных шестерён и обеспечивается постоянный напор подготовленного модельного состава в направлении выходного патрубка.

Вращение валов смесителя осуществляется в одном направлении от общего привода, состоящего из понижающего редуктора, ременной передачи и электродвигателя. Перед приготовлением пастообразного модельного состава корпус смесителя нагревают горячей водой или паром, подаваемым от парогенератора, для расплавления твёрдых остатков модельного состава в смесителе. После нагрева смесителя до температуры 60...80°C в него через заливочное отверстие подают жидкий модельный состав. Одновременно с заполнением смесителя жидким модельным составом в рубашку корпуса подают холодную воду из водопроводной сети для интенсификации охлаждения расплава модельного состава и включают привод смесителя.

В результате встречного движения смежных шестерён происходит активное перемешивание и охлаждение жидкого модельного состава, а также его насыщение воздухом, поступающим через заливочное отверстие в смесителе. Шестеренчатый смеситель конструкции завода "Прожектор" обеспечивает высокое качество приготовления пастообразного модельного состава, характеризуется достаточно высокой производительностью и надёжностью в работе.

В зависимости от типа используемого оборудования для заправки пресс-форм, приготовленный пастообразный модельный состав либо вручную помещают в шприц, либо автоматически непрерывно подают в шприц по обогреваемым пастопроводам.

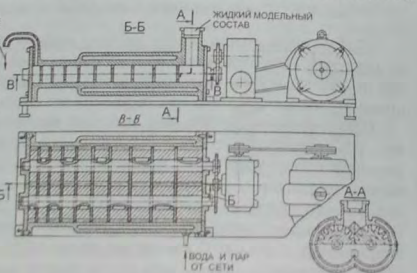


Рис. 5.33. Шестеренчатый смеситель

Перед приготовлением пастообразного модельного состава корпус смесителя нагревают горячей водой или паром, подаваемым от парогенератора, для расплавления твёрдых остатков модельного состава в смесителе. После нагрева смесителя до температуры 60...80°C в него через заливочное отверстие подают жидкий модельный состав. Одновременно с заполнением смесителя жидким модельным составом в рубашку корпуса подают холодную воду из водопроводной сети для интенсификации охлаждения расплава модельного состава и включают привод смесителя.

В результате встречного движения смежных шестерён происходит активное перемешивание и охлаждение жидкого модельного состава, а также его насыщение воздухом, поступающим через заливочное отверстие в смесителе. Шестеренчатый смеситель конструкции завода "Прожектор" обеспечивает высокое качество приготовления пастообразного модельного состава, характеризуется достаточно высокой производительностью и надёжностью в работе.

В зависимости от типа используемого оборудования для заправки пресс-форм, приготовленный пастообразный модельный состав либо вручную помещают в шприц, либо автоматически непрерывно подают в шприц по обогреваемым пастопроводам.

На некоторых предприятиях для изготовления моделей мелких отливок заправку модельного состава в пресс-форму осуществляют с помощью ручного шприца (см. рис. 5.34). Ручные шприцы изготавливают из стали. Как правило, внутренний диаметр ручного шприца находится в пределах от 30 до 50 мм, объём шприца - до 0,3 дм³, а диаметр отверстия в носике шприца составляет 5...6 мм.

Непосредственно перед заправкой в пресс-форму шприц с помощью ложки заполняют пастообразным модельным составом, после чего в его внутреннюю полость, до лёгкого упора, вводят поршень. Для заправки носик шприца устанавливают в заправочную воронку литника пресс-формы и, надавливая на поршень, проводят заправку модельного состава в рабочую полость пресс-формы.

После заправки одной или нескольких пресс-форм поршень и пресс-остаток модельного состава извлекают из корпуса шприца.

Помимо ручных шприцов, заправку воздушнонаполненных модельных составов проводят с использованием рычажных, винтовых, пневматических или гидравлических прессов. В настоящее время существует достаточно большое разнообразие

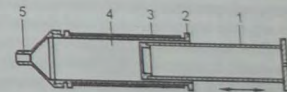


Рис. 5.34. Схема ручного шприца: 1 - поршень; 2 - корпус; 3 - матерчатый шнур; 4 - рабочая полость шприца; 5 - носик шприца

конструкций прессов, в том числе оснащённых автоматическим регулированием времени выдержки модельного состава под давлением, температуры модельного состава в шприце, удельной скорости и давления прессования.

В цехах и на участках, ориентированных на мелкосерийное производство отливок, как правило, используют рычажные, винтовые или пневматические прессы собственной конструкции. В качестве примера на рис. 5.35 представлена схема пневматического настольного пресса для запресовки модельного состава в пресс-формы.

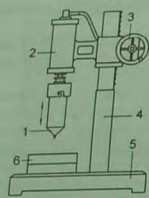


Рис. 5.35. Схема пневматического пресса

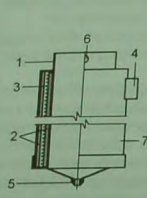


Рис. 5.36. Схема электрообогреваемого шприца

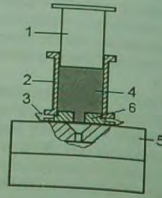


Рис. 5.37. Схема запресовки с использованием стакана

Настольный пресс состоит из основания 5, колонки 4, механизма подъёма-опускания пневмоцилиндра 3, пневмоцилиндра 2, в нижней части которого на штоке выполнен поршень. Шприц 1 крепят на штоке прессы после заполнения рабочей полости шприца подготовленным модельным составом.

Принцип работы пневматического прессы состоит в том, что подготовленный модельный состав в пастообразном состоянии вручную помещают в шприц и закрепляют его под поршнем на штоке пневмоцилиндра прессы.

Для запресовки собранную пресс-форму 6 устанавливают на основание прессы. Повышая воздушное давление в рабочем цилиндре прессы, вместе со штоком пневмоцилиндра опускают шприц, совмещая отверстие в носике шприца с запрессовочным отверстием в пресс-форме.

По окончании запресовки и определённой выдержки модельного состава в пресс-форме под давлением проводят сброс воздушного давления в рабочем цилиндре прессы и поднимают шток в исходное положение (вместе со штоком поднимаются и поршень, и шприц).

При использовании шприца, заполняемого модельным составом вручную, важным моментом является наличие обогрева корпуса шприца. Использование электрообогреваемого шприца обеспечивает постоянно температуру запрессовываемого пастообразного модельного состава. В свою очередь, это позволяет получать высококачественные модели со стабильной размерной точностью и высокой чистотой поверхности.

В качестве примера на рис. 5.36 представлена схема электрообогреваемого шприца. Электрообогреваемый шприц состоит из внутреннего стакана 1 с носиком 5, кожу 7, электроизоляционного материала 2, нихромовой спирали 3, электродвзяема 4 и крепёжных стержней 6. Питание нагревательного элемента шприца осуществляется от источника переменного тока с напряжением 36 вольт.

На некоторых отечественных предприятиях вместо шприцев используют запрессовочные стаканы 2 с съёмным дном 6 (см. рис. 5.37). При использовании стакана запресовку пресс-формы осуществляют следующим образом. Подготовленную пресс-форму 5 (см. рис. 5.37) устанавливают на стол прессы, запрессовочное отверстие пресс-формы накрывают листом тонкой бумаги 3 и на бумагу устанавливают порционный стальной стакан, предварительно нагретый до температуры запресовки модельного состава.

Стакан устанавливают таким образом, чтобы отверстие в его съёмном днище совпадало с запрессовочным отверстием в пресс-форме. Полость стакана с помощью ложки или лопатки заполняют пастообразным модельным составом 4 в таком количестве, чтобы его хватило на заполнение рабочих полостей пресс-формы и компенсации усадки затвердевающей модели. После этого в полость стакана вводят опускающийся шток прессы.

В начале прессования поршень под давлением штока прессы будет опускаться вниз, сжимая в стакане пастообразный модельный состав. При определённом давлении пастообразный модельный состав прорвет бумагу в области запрессовочного отверстия и заполнит рабочую полость пресс-формы. По окончании запресовки и влекают из стакана. Стакан, после извлечения из него поршня, очищают от остатка модельного состава и готовят под очередную порцию.

Стремление к стабилизации свойств пастообразного модельного состава в процессе производства моделей в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства обусловило создание установок, совмещающих подготовку модельного состава и изготовление моделей.

Примером такой установки может служить установка с шестерёнчатый насосом (см. рис. 5.38), сконструированная на Ижевском машиностроительном заводе и модернизированная во ВНИИЛИТМаше. Установка состоит из станины 1, в верхней части которой установлен шестерёнчатый насос 3 с электродвигателем 2. Станина оснащена столом 9, на который устанавливают пресс-форму 10. Кроме того, на станине надёжно состав. Для запресовки модельного состава, установка оснащена шприцем 11 и системой обогреваемых трубок (пастопроводов) (4, 7, 8), соединяющих между собой бачок, шестерёнчатый насос и шприц.

В процессе работы установки модельный состав в бачке постоянно находится в жидком состоянии. Во время работы жидкий модельный состав по трубке 4 из бачка засасывается в шестерёнчатый насос, где охлаждается и перегоняется по трубке 8 в корпус шприца 11. От шприца через трубку 7 модельный состав вновь поступает в бачок. По прошествии 8...15 мин перекачки модельный состав разогревает рабочие элементы установки, насыщается определённым количеством воздуха и приобретает пастообразное состояние. Для запресовки пресс-форму 10 устанавливают на стол 9, оснащённый механизмом вертикального перемещения, совмещающим запрессовочное отверстие пресс-формы с отверстием в шприце и проводят запресовку пастообразного модельного

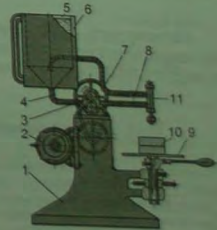


Рис. 5.38. Схема установки для подготовки и запресовки модельного состава

состава. Поступление модельного состава из шприца в пресс-форму обеспечивает золотник, выполненный в шприце.

По окончании запрессовки золотник в шприце перекрывает доступ модельного состава к пресс-форме и пастообразный модельный состав продолжает циркулировать по замкнутым пастопроводам, уходя и поступающая в бачок. По мере расходования модельного состава его новые порции периодически добавляют в бачок, используя заранее приготовленную механическую смесь жидкого модельного состава и его стружку.

В цехах массового и серийного производства для подготовки модельного состава и изготовления моделей из воздушнонаполненных модельных составов, в основном, используют установки производства ГУП «Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова (см. Приложение 2). В частности, для приготовления пасты из модельного состава с температурой плавления не выше 90°C предназначен автомат мод. 61701 (см. рис. 5.39). В состав автомата входят: агрегат плавильный, две станции насосно-нагревательные, пастопровод, пневмооборудование, электрооборудование, трубопроводы, два смесеприготовителя.

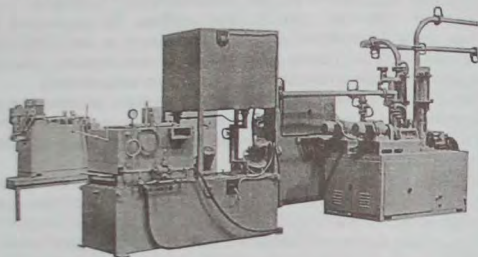


Рис. 5.39. Автомат мод. 61701

Автомат мод. 61701 используют преимущественно для подготовки модельного состава при его использовании на автоматах модельных звеньев, например, автомата мод. 61201А. Технические параметры автомата мод. 61701 приведены в табл. 5.35.

Технические параметры автомата мод. 61701

Таблица 5.35

Параметры	Значения
Производительность при непрерывном режиме работы, м ³ /ч: одной шестеренчатой мешалки / двух шестеренчатых мешалок.	0,125 / 0,250
Температура расплава модельного состава, °С	90
Давление в пастопроводе, развиваемое насосом пневматическим (при давлении сжатого воздуха 0,25 МПа), МПа	1
Температура пастообразного модельного состава на выходе из мешалки шестеренчатой, °С	60
Температура воды, подаваемой насосно-нагревательными станциями, °С	95
Расход воды на технологические цели (при температуре воды 8–12°C), м ³ /ч	2
Расход сжатого воздуха на технологические цели (при давлении 0,4 МПа), м ³ /ч	0,5
Расход пара на технологические цели (при давлении) 0,2 МПа, кг/ч	25
Расход электроэнергии, кВт/ч	34
Габаритные размеры, мм: длина × ширина × высота	5500 × 4000 × 2800
Масса, кг	5550

В процессе приготовления пастообразного модельного состава автомат выполняет следующие технологические операции: плавление твердого модельного состава, фильтрацию и перемешивание модельного состава, термостатирование жидкого модельного состава, приготовление пастообразного модельного состава с замешиванием в него воздуха, подачу пастообразного модельного состава с замешиванием к шприцам машин.

Для изготовления монолитных выплавляемых моделей из пастообразного модельного состава групп 1 или 4 в условиях мелкосерийного, серийного и массового производства литья используют автоматы по производству модельных звеньев и шприц-машины (см. Приложение 2), изготавливаемые на специализированных предприятиях.

Автомат мод. 61201А (мод. 653)

предназначен для изготовления модельных звеньев из легкоплавких пастообразных воздушнонаполненных модельных составов в условиях серийного и массового производства в автоматизированных пресс-формах (10 шт. на автомате).

Автомат работает в составе автоматической линии с централизованной подачей подготовленного модельного состава. В состав автомата входят: стол, привод карусели, механизм смыкания пресс-форм, шприц, система смазки пресс-форм, пневмооборудование, электрооборудование, конвейер водяной и ограждение.

Схема автомата мод. 61201А (мод. 653) представлена на рис. 5.40, а его технические параметры приведены в табл. 5.36.

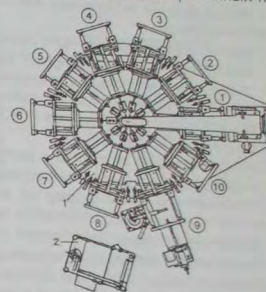


Рис. 5.40. Схема автомата модельных звеньев мод.61201А (вид сверху): 1 — автомат модельных звеньев; 2 — водяной конвейер охлаждения модельных звеньев

Технические параметры автомата мод. 61201А (мод. 653)

Таблица 5.36

Параметры	Значения
Размеры поверхностей плит для крепления пресс-форм, мм: длина × ширина	250 × 250
Наименьшее расстояние между плитами, мм	240
Давление запрессовки модельного состава, не более, МПа (кгс/см ²)	2 (20)
Наибольшая производительность, запрессовок/ч	400
Производительность (при изготовлении модельных звеньев массой 300–400 г), звеньев/ч	125
Производительность, обеспечиваемая переналадкой, запрессовок/ч	63; 125; 250; 320
Ход подвижной плиты, мм	160
Усилие смыкания пресс-форм (при давлении сжатого воздуха 0,5 МПа), кН	11,2 (1120)
Количество одновременно устанавливаемых пресс-форм, шт.	10
Максимальная порция модельной пасты, подаваемой в пресс-форму, г	0,5
Расход воды на технологические цели, м ³ /ч	4
Расход сжатого воздуха (при давлении 0,5 МПа), м ³ /ч	2
Расход электроэнергии, кВт/ч	0,82
Габаритные размеры, мм: длина × ширина × высота	4100 × 3160 × 1410
Масса, кг	4800

Автомат мод. 61201А (мод. 653) работает в автоматическом и ручном режимах. Для изготовления моделей пастообразный модельный состав поступает по обогреваемым пастопроводам от автомата мод. 61701.

В процессе работы автомат мод. 61201А (мод. 653) выполняет следующие технологические операции:

- смыкание пресс-формы;
- запрессовку пастообразного модельного состава в пресс-форму;
- периодический (шаговый) поворот стола с пресс-формами на угол 36 град;
- охлаждение модельных звеньев в охлаждаемой пресс-форме;
- раскрытие пресс-формы;
- выталкивание модельных звеньев из пресс-формы и смазку рабочей поверхности пресс-формы;
- прочистку запрессовочного (литникового) отверстия пресс-формы;
- удаление готовых модельных звеньев из зоны раскрытия пресс-формы;
- охлаждение модельных звеньев на водяном конвейере;
- охлаждение модельных звеньев в охлаждаемой пресс-форме.

Автомат работает только с автоматизированными пресс-формами, основные размеры которых соответствуют ГОСТ 19947-74, и снабженными механизмами выталкивания модельных звеньев.

Принцип работы автомата с автоматизированными пресс-формами состоит в следующем (см. рис. 5.40). Запрессовка подготовленного модельного состава в автоматизированную пресс-форму на десятипозиционном автомате по производству модельных звеньев осуществляется на первой условной позиции автомата (на рис. 5.40 условные позиции пресс-форм обозначены цифрами и выделены окружностями). После заправки, при перемещении со второй на восьмую позицию, пресс-форма находится в собранном состоянии. За это время в пресс-форме затвердевает и охлаждается запрессованный в неё модельный состав.

На восьмой позиции осуществляется раскрытие пресс-формы и выталкивание (удаление) затвердевшей модели или модельного звена из неподвижной части автоматизированной пресс-формы за предел плоскости её разъёма в направлении водяного конвейера автомата.

Поступая на девятую позицию, рабочие полости пресс-формы проходят очистку и смазку. После завершения операций очистки и смазки рабочих и литниковых полостей пресс-форма занимает десятую позицию в автомате, где проводится её закрытие и начинается повторение вышеописанного цикла.

Подготовка модельного состава, не содержащего воздух, и изготовление из него моделей. Как было отмечено выше, модельные составы, не содержащие воздуха в пастообразном состоянии, используют, в основном, для изготовления моделей с высокой чистой поверхностью и размерной точности в условиях мелкосерийного и серийного производства литья.

В цехах литья по выплавляемым моделям подготовку модельного состава к запрессовке в пресс-форму осуществляют в нагревательных баках собственной конструкции либо нагревательных баках, встроенных в конструкцию шприц-машин.

Если подготовленный модельный состав не содержит воды или твёрдого наполнителя с плотностью, существенно отличающейся от плотности его восполнодобной части, то суть процесса подготовки модельного состава заключается в его расплавлении и небольшом перегреве с последующим охлаждением до температуры его пастообразного состояния. В этом случае перемешивание модельного состава не проводят и используют одну из конструкций нагревательных баков, схемы которых представлены на рис. 5.41 (на рис. 5.41 обозначены: 1 – крышка бака; 2 – термопара; 3 – патрубок; 4 – теплоизоляционный материал; 5 – глицерин; 6 – модельный состав; 7 – нагревательный элемент).

В случае необходимости проведения перемешивания подготовленного модельного состава используют бак с донной механической мешалкой, конструкция которой представлена на рис. 5.42. На рис. 5.42 обозначены: 1 – бак; 2 – модельный состав; 3 – теплоизоляционный материал; 4 – электронагревательный элемент; 5 – лопасти донной мешалки; 6 – редуктор понижающий и электродвигатель.

Особенностью конструкции данной плавильной установки является наличие донной мешалки, что позволяет проводить непрерывное перемешивание подготовленного модельного состава без замешивания в него пузырьков воздуха (частота вращения вала мешалки – 3...7 об/мин).

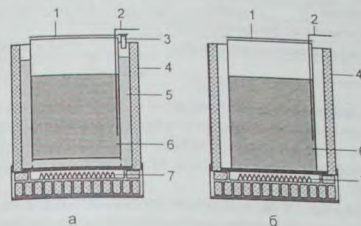


Рис. 5.41. Схемы нагревательных баков

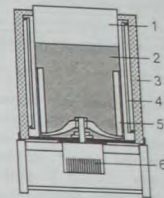


Рис. 5.42. Схема бака с донной мешалкой

В настоящее время большинство нагревательных баков, используемых для подготовки пастообразного модельного состава, не содержащего воздух, оборудовано тихоходными механическими мешалками, входящими в пастообразный модельный состав со стороны его свободной поверхности.

Существенным недостатком таких установок является замешивание пузырьков воздуха в приготавливаемый модельный состав. Впоследствии замешанные воздушные пузырьки являются причиной появления на моделях воздушных раковин, пузырей, спаев и т.п.

Конструкцией некоторых тихоходных мешалок, у которых лопасти размещены на валу, входящем в пастообразный модельный состав со стороны его свободной поверхности, для максимально полного удаления воздуха из жидкого и пастообразного модельного состава предусмотрено вакуумирование подготовленного модельного состава.

В частности, для этих целей ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова" производит вакуумную установку мод. 64001.6364-5798.

Внешний вид установок мод. 64001.6364-5798, установленных вдоль роликового конвейера, представлен на рис. 5.43, а их технические параметры приведены в табл. 5.37.



Рис. 5.43. Установки мод. 64001.6364-5798

Технические параметры установка мод. 64001.6364-5798 Таблица 5.37

Параметры	Значение
Емкость бака, м ³	0,06
Максимальная рабочая температура расплава модельного состава, °С	160
Установленная мощность, кВт	17
Величина вакуума, МПа	0,05–0,08
Частота вращения вала мешалки, об/мин	60
Температура установочная для теплоносителя, °С	175
Мощность на термостате приготовления модельного состава, кВт	15
Габаритные размеры, мм (без электрошкафа): длина×ширина×высота	1950×1300×2700
Масса, кг	1200

Изготовление выплавляемых моделей из пастообразных модельных составов, не содержащих воздух, проводят не только на пневматических прессах собственной конструкции, но и шприц-машинах, которые изготавливают на специализированных предприятиях, к числу которых относится Тираспольский завод литейных машин им. С.М.Кирова*, фирма "Mueller Phipps", "Schott" и др.

Изготовление моделей на шприц-машинах позволяет стабилизировать качество изготавливаемых моделей в целом, и их геометрические размеры в частности. Стабильности качества моделей, изготавливаемых на шприц-машинах, достигают за счёт управления температурой пресс-формы, температурой подготовленного модельного состава, давлением впрыска пастообразного модельного состава в пресс-форму, давлением запаривания пресс-формы, давлением допрессовки модельного состава в пресс-форме, длительностью выдержки модельного состава в пресс-форме под давлением, удельной скоростью поступления модельного состава в пресс-форму.

Например, шприц-машины мод. 659А и мод.61012 (Изготовитель – ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М.Кирова", Молдова) предназначены для приготовления пастообразной модельной массы из готовых модельных составов и изготовления выплавляемых моделей в ручных пресс-формах методом прессования с допрессовкой.

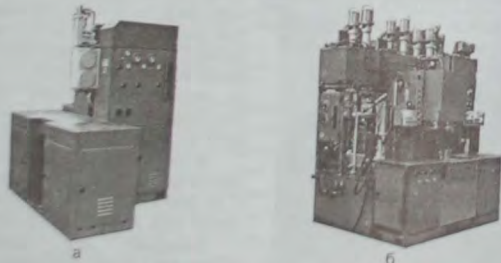


Рис. 5.44. Шприц-машины мод. 659А (а) и мод. 61012 (б)

Внешний вид шприц-машин мод. 659А и мод.61012 представлен на рис. 5.44, а их технические параметры приведены в табл. 5.38.

Технические параметры шприц-машин мод. 659А и мод.61012 Таблица 5.38

Параметры	Значения	
	мод. 659А	мод. 61012
Производительность:		
по пастообразному модельному составу, м ³ /ч	0,063	0,125
по количеству запрессовок, запрессовок/ч	250	250
при работе ручным шприцем, запрессовок/ч	-	32
Наибольший объем запрессовки, л	4	4
Наименьшая высота пресс-форм, мм	160	60
Температура расплава модельного состава, °С	80	150
Максимальные габаритные размеры пресс-форм, мм:		
длина×ширина×высота	350×350×300	600×400×350
Давление запрессовки, МПа	0,2–0,5	0,2–1,5
Давление допрессовки, МПа	0,4–1,26	0,6–2,5
Время выдержки под давлением допрессовки, с	0,5–15	1–10
Температура пастообразного модельного состава на выходе из шестеренчатой мешалки, °С	52	120
Расход воды на технологические цели, м ³ /ч	1,0	0,7
Расход сжатого воздуха (при давлении 0,4 МПа), м ³ /ч	1	0,6
Расход пара, кг/ч	15	16
Расход электроэнергии, кВт/ч	15,18	16
Габаритные размеры, мм: длина×ширина×высота	2300×1800×2300	2300×2086×3150
Масса, кг	2300	4350

На прессах (шприц-машинах) фирмы SCHOTT изготавливают модели от нескольких граммов до десятков килограммов и габаритными размерами до 2000 мм. В качестве примера в табл. 5.39 приведены технические параметры пресса SCHOTT-500, а его общий вид схематично представлен на рис. 5.45.

Технические параметры пресса SCHOTT-500 Таблица 5.39

Параметры	Значения
Потребляемая мощность, кВт	19
Размеры рабочей камеры, мм	660; 690; 600
Максимальное усилие зажима пресс-формы, кН (т)	400 (40)
Давление впрыска модельного состава, МПа	До 10
Давление прижатия сопла к пресс-форме, МПа	5
Давление на выталкивание моделей, МПа	5
Объем бака для плавления модельного состава, л	60
Объем бака с мешалкой для модельного состава, л	75
Объем впрыскивающей камеры (цилиндра), л	3
Габаритные размеры, мм	2150×1845×2900
Масса, кг	3000

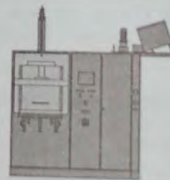


Рис. 5.45. Пресс SCHOTT-500

Следует отметить, что для запрессовки модельного состава в пресс-формы в прессах SCHOTT-500 свободный ход носика шприца осуществляется в горизонтальной плоскости. То есть для запрессовки модельного состава на прессе SCHOTT-500 пресс-форму устанавливают не вертикально, а укладывают набок таким образом, чтобы вход в литниковое отверстие пресс-формы оказался сбоку, на уровне расположения носика шприца в прессе.

Подготовка пресс-форм. Перед запрессовкой модельным составом проводят подготовку пресс-форм.

Как правило, рассматриваемый процесс для ручных пресс-форм состоит из следующих технологических операций: разборка пресс-формы, очистка поверхностей пресс-формы, протирка поверхностей пресс-формы, визуальный контроль качества рабочих и сочленяющихся поверхностей пресс-формы, смазка рабочих поверхностей пресс-формы, сборка пресс-формы, визуальный контроль качества пресс-формы, подогрев или охлаждение пресс-формы.

Очистку рабочих и сочленяющихся поверхностей пресс-формы проводят после каждой заправки пресс-формы. Для очистки используют ветошь, деревянные щётки, пластмассовые или алюминиевые щипцы, сжатый воздух. Протирку поверхностей пресс-формы осуществляют мягкой ветошью, марлей или ватным тампоном. В процессе проведения визуального контроля оценивают качество очистки поверхностей пресс-формы и наличие на рабочих и сочленяющихся поверхностях пресс-формы дефектов (царапин, сколов, забоин и пр.). В случае выявления недопустимого повреждения на данных поверхностях пресс-форму направляют в ремонт.

С целью предупреждения прилипания модели рабочие поверхности пресс-формы смазывают разделительной жидкостью, которую подбирают индивидуально для каждого конкретного модельного состава и материала рабочей поверхности пресс-формы. Как правило, рабочие поверхности пресс-форм покрывают тонким слоем смазки, представляющей собой раствор трансформаторного масла в этиловом спирте или керосине (в соотношении 1:1, по объёму), раствор касторового масла в этиловом спирте (в соотношении 1:1, по объёму), полисилоксановую жидкость, раствор мыла в воде (рН=10...13), раствор глицерина в воде, раствор мыла в водно-спиртовом растворе, раствор полисилоксановой жидкости ПС-5 в масле индустриальном (И-22) в соотношении, по объёму, 1:3 и т.п.

В некоторых случаях при изготовлении моделей отливок ответственного назначения из модельных составов, изготовленных на основе парафина, воска бурого угольного, воска торфяного, полиолефинов и т.п., в качестве смазки используют чистое трансформаторное масло с последующей протиркой рабочих поверхностей сухим капроновым тампоном или раствором трансформаторного масла во фреоне-113, в соотношении 15:85 или 10:90 (по объёму) соответственно.

Если для изготовления моделей используют гипсовую пресс-форму, то, как правило, её рабочие поверхности ничем не смазывают, а саму пресс-форму перед её использованием пропитывают водой.

Для смазывания рабочих поверхностей пресс-форм используют марлевый тампон либо, если смазка не содержит спирта, тампон из капроновой ткани.

Частота смазки рабочих поверхностей пресс-форм зависит от размеров модели, свойств используемого модельного состава, требований к качеству поверхности изготавливаемых моделей, конфигурационных особенностей моделей и т.п. При получении моделей отливок ответственного назначения либо моделей средних и крупных отливок смазку пресс-форм, как правило, проводят после каждой заправки (заливки) модельного состава. При изготовлении моделей мелких отливок общемашиностроительного назначения смазку пресс-форм проводят через каждые 5...12 заливок (заливок).

После смазки пресс-форму собирают. В случае, если в пресс-форме предусмотрена установка стержня (керамического, графитового или водорастворимого), перед сборкой в пресс-форму устанавливают соответствующий стержень. При этом в некоторых случаях, если стержень изготовлен из солевого, водорастворимого сплава, его предварительно охлаждают до температуры 4...8°С с целью получения качественной внутренней поверхности модели. Если стержень керамический или графито-

вый, то его перед установкой в пресс-форму в ряде случаев нагревают до температуры 30...45°С с целью получения качественной внешней поверхности модели.

Визуальный контроль собранной пресс-формы (формы) осуществляют на предмет качества сборки, в результате которой все сопрягающиеся и отъемные части пресс-формы должны быть на своих местах, четко зафиксированы и плотно, без зазоров, прижаты друг к другу.

Начальная температура пресс-формы – один из важнейших параметров, предопределяющий качество получаемой модели отливки. Как правило, начальная температура рабочей поверхности пресс-формы составляет 22...36°С и для каждой модели определяется индивидуально.

5.7. Охлаждение, ремонт и хранение моделей

Охлаждение моделей. Охлаждению подвергают лишь те модели, которые изготавливают из жидкого или пастообразного модельного состава. Процесс охлаждения модели начинается в пресс-форме (форме) с момента окончания затвердевания модельного состава.

В условиях затруднённой усадки модели увеличение времени её выдержки в пресс-форме приводит к уменьшению линейной усадки модели и, следовательно, к повышению её размерной точности и точности формы. Тем не менее, длительная выдержка модели в пресс-форме не всегда оправдана. Прежде всего, это связано со снижением показателя оборачиваемости пресс-формы, что нежелательно в условиях серийного и массового производства отливок. Кроме того, в условиях зарывания в моделях трещин. Особенно заметно влияние длительного охлаждения в пресс-форме на крупногабаритных тонкостенных моделях, где брак по трещинам может достигать 100%.

В случае длительного охлаждения крупногабаритных моделей с относительно толстыми стенками возникают сложности при извлечении модели из пресс-формы. Дело в том, что при длительном охлаждении модели большая доля усадки модельного состава реализуется в пресс-форме в затруднённом состоянии. При этом модель «обжимает» стержневые и выступающие в модель части пресс-формы, значительно усложняя процесс её извлечения из пресс-формы. В некоторых случаях усилие извлечения модели из пресс-формы превышает прочность модельного состава, что приводит к разрушению модели.

Недостаточно длительная выдержка моделей в пресс-форме позволяет довольно легко извлекать модели из пресс-форм, но, в то же время, она является основной причиной повышенной усадки моделей и их коробления. Длительность выдержки модели в пресс-форме, в основном, определяется теплофизическими свойствами материала модели и пресс-формы, а также толщиной стенок модели и начальной температурой пресс-формы. То есть длительность выдержки модели в пресс-форме зависит от скорости затвердевания и охлаждения модели, которые, в частности, влияют на величину свободной линейной усадки модели и, соответственно, её размеры.

Таблица 5.40
Линейная усадка моделей из модельных составов типа ПС

Материал пресс-формы	α _м , %
Сталь	0,8-1,0
Металлопластмасса	0,5-0,6
Эпоксипластик без наполнителя	0,2-0,25
Гипс	0,2-0,25

В качестве примера в табл. 5.40 приведены значения величины свободной линейной усадки моделей (α_м), изготовленных путём заправки модельных составов типа ПС в пресс-формы из различных материалов, имеющих, соответственно, различный коэффициент теплопроводности [117].

Данные, приведенные в табл. 5.40, свидетельствуют о том, что свободная линейная усадка моделей понижается с уменьшением теплопроводности материала пресс-формы, то есть понижается с уменьшением интенсивности охлаждения моделей в пресс-форме. Таким образом, для каждой модели и модельного состава существует индивидуальный режим охлаждения, обеспечивающий определенный уровень качества модели и соответствующую оборачиваемость пресс-формы.

При назначении режима охлаждения модели в пресс-форме учитывают следующие параметры и факторы: прочность модельного состава, способ изготовления модели, способ охлаждения модели, теплофизические свойства материала пресс-формы, габаритные размеры и конфигурационные особенности модели, размеры тепловых узлов модели, толщину стенок модели; теплофизические свойства модельного состава, способ подготовки модельного состава к запрессовке и т.п.

Исследуя процесс затвердевания и охлаждения моделей из модельных составов ПС 50-50 и ПС 70-30 авторы работы [117] отмечают, что при заливке в пресс-формы жидкого модельного состава скорость затвердевания моделей в пресс-форме из углеродистой стали и алюминиевого сплава практически одинакова. Скорость затвердевания моделей в металлопластмассовых пресс-формах на 15%, а в пластмассовых и гипсовых пресс-формах на 25% ниже, чем в стальных и алюминиевых пресс-формах. При этом скорость затвердевания модели, полученной из пастообразного состояния модельного состава, на 20% выше, чем у моделей, полученных путём заливки в пресс-формы жидкого модельного состава.

В первом приближении длительность выдержки моделей компактной формы (для звеньевой сборки модельных блоков), получаемых из пастообразного воздушно-наполненного модельного состава типа КС-5Р, КС-5А, КС-3, Р-3, МВС-15 и т.п. (при содержании воздуха от 14% до 30%, по объёму) в металлических автоматизированных пресс-формах (температура воды в системе охлаждения пресс-форм — от 8 до 12°C), с последующим охлаждением модели в воде комнатной температуры, автор рекомендует рассчитывать по эмпирическому уравнению:

$$\tau = \frac{20 \cdot (1 + 0,01 \cdot U_B) \cdot R_{\text{плт}}}{\sqrt{\sigma_{\text{и}}}} \quad (5.10)$$

где τ — время выдержки модели в пресс-форме, с; $R_{\text{плт}}$ — приведенная толщина наименьшего сечения питателя отливки, мм; U_B — содержание воздуха в модельном составе, % (по объёму); $\sigma_{\text{и}}$ — предел прочности модельного состава при статическом изгибе, при (19±1)°С и отсутствии в нём воздуха, МПа.

Пример 5.1. Рассчитать длительность охлаждения модели отливки в автоматизированной пресс-форме, если наиболее узкое сечение питателя модели отливки составляет 5×10 мм, содержание воздуха в модельном составе составляет 20% (по объёму), а предел прочности модельного состава при статическом изгибе, при (19±1)°С и отсутствии воздуха в модельном составе, составляет 4 МПа.

Зная размеры наиболее узкого сечения питателя, рассчитаем его приведенную толщину в данном сечении. Поскольку сечение питателя имеет прямоугольную форму, то

$$R_{\text{плт}} = \frac{S_{\text{плт}}}{P_{\text{плт}}} = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b)} = \frac{10 \cdot 5}{2 \cdot (10 + 5)} = 1,66 \text{ мм},$$

где a и b — ширина и толщина узкого сечения питателя соответственно, мм

Вычисляя приведенную толщину наиболее узкого сечения питателя, по уравнению (5.10) рассчитываем длительность охлаждения модели в автоматизированной пресс-форме:

$$\tau = \frac{20 \cdot (1 + 0,01 \cdot U_B) \cdot R_{\text{плт}}}{\sqrt{\sigma_{\text{и}}}} = \frac{20 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) \cdot 1,66}{\sqrt{4}} = 19,92 \text{ с}.$$

Принимаем $\tau = 20$ с.

При изготовлении моделей из воздушнонаполненных модельных составов типа КС-5А, КС-5Р, Р-3 и др. в стальных или алюминиевых ручных пресс-формах с неконтролируемой температурой, длительность охлаждения модели в пресс-форме автор рекомендует рассчитывать по эмпирическому уравнению:

$$\tau = \frac{3,1 \cdot (1 + 0,01 \cdot U_B) \cdot R_{\text{плт}} \cdot D_y^2}{\sqrt{\sigma_{\text{и}}}} \quad (5.11)$$

где τ — время выдержки модели в пресс-форме, с; $R_{\text{плт}}$ — приведенная толщина наименьшего сечения питателя отливки, мм; D_y — диаметр сферы, вписанной в наибольший термический узел модели отливки, мм; U_B — содержание воздуха в модельном составе, % (по объёму); $\sigma_{\text{и}}$ — предел прочности модельного состава при статическом изгибе, при (19±1)°С и отсутствии воздуха в модельном составе, МПа.

В данном случае, после охлаждения в пресс-форме, модель извлекают из неё и немедленно погружают в проточную воду с температурой 16...22°C на 5...40 мин либо выдерживают на воздухе в течение не менее двух часов. Длительность выдержки средних и крупных моделей на воздухе до начала сборки в модельные блоки — не менее 6...24 ч.

Модели средних и крупных тонкостенных моделей отливок после извлечения из пресс-формы охлаждают на воздухе при комнатной температуре не менее 12 ч, но не более 3-х суток в помещении с суточным изменением температуры воздуха в пределах ±1°C.

При получении особо сложных крупногабаритных моделей отливок специального назначения, характеризующихся значительной разнотолщинностью стенок, охлаждение моделей в пресс-форме проводят в течение 1...6 ч, после чего модель извлекают из пресс-формы и дополнительно, выдерживают на воздухе не менее 24 ч.

Несколько иначе обстоит дело с охлаждением моделей, изготовленных из модельного состава, не содержащего воздух (модельные составы типа ВИАМ-102, КС-107-Б, ЗГВ-102 и т.п.). Дело в том, что в модельном составе, как и в любом другом твёрдом теле, изменение агрегатного состояния сопровождается изменением объёма, что в условиях затруднённой усадки приводит к формированию значительных внутренних напряжений в модели. По этой причине модели, изготовленные из модельных составов, не содержащих воздух, в воде не охлаждают.

Ранее извлечение такой модели из пресс-формы приводит к её определённому короблению в связи со свободной реализацией незавершённой усадки модельного состава. Особенно заметно коробление в тонкостенных крупногабаритных моделях, имеющих толстостенные фланцы, бобышки и т.п. Избежать значительного коробления в этих случаях возможно путём помещения модели в драйер либо путём увеличения длительности выдержки модели в пресс-форме, которая может составлять от 5 мин до двух и более часов. За время выдержки модели в пресс-форме происходит

перераспределение напряжений в теле модели без существенного изменения точности формы после её извлечения из пресс-формы и при хранении.

Рассматривая вопрос о длительной выдержке моделей в пресс-форме, следует отметить, что по ряду причин, этот технологический прием не всегда приемлем. Это может быть связано с особенностями модельного состава, например, его склонностью образовывать трещины в условиях затруднённой усадки модели или необходимостью увеличения обрабатываемости пресс-формы. В этих случаях длительность выдержки модели в пресс-форме следует сократить до минимально допустимой, а охлаждение модели, извлечённой из пресс-формы, проводить либо в драйере, либо под деревянным или пластмассовым колпаком, либо в шкафу, предохраняющем модель от сквозняков.

В некоторых случаях после извлечения тонкостенной модели кольцевого типа, во избежание значительного коробления, охлаждение модели осуществляют на специальной подставке. В качестве примера на рис. 5.46 представлена модель отливки кольцевого типа с наибольшим внешним диаметром 860 мм и схема размещения модели отливки 1 на специальной подставке.

Подставка под модель (см. рис. 5.46, б) состоит из основания 2, съёмного кольца 3 и обечайки 4, жёстко посаженной на основании. Для съёма модели 1 с подставки осуществляют вертикальное перемещение (подъём) кольца 3 относительно основания 2.

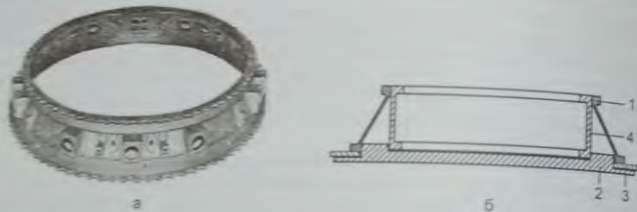


Рис. 5.46. Модель отливки (а) и схема расположения модели на подставке при хранении (б)

По сути длительность охлаждения модели на воздухе определяется длительностью процесса завершения её усадки. Нанесение огнеупорного покрытия на модель с незавершённой усадкой приводит к короблению или разрушению модели, отслоению от поверхности модели первого слоя огнеупорного покрытия, образованию трещин в КО или образованию сетки трещин на первом слое огнеупорного покрытия или в самой модели. Для снижения величины напряжений в модели следует использовать модельные составы с относительно небольшим (0,2...0,6%) коэффициентом свободной линейной усадки и охлаждать модели в условиях отсутствия существенного движения воздуха в помещении хранения моделей.

Коробление является частным случаем проявления деформации, вызванной неоднородностью температурного поля охлаждающегося изделия (модели) на воздухе. Поэтому нарушение формы модели может произойти не только в результате её коробления, но и в результате деформации под собственным весом. Деформация модели под собственным весом происходит как в процессе охлаждения модели на воздухе, так и в процессе хранения охлаждённой модели. В связи с этим важно правильно выбрать опорную поверхность и положение модели в пространстве при её хранении. При этом сложнопрофильные модели, не имеющие опорной поверхно-

сти, охлаждают и хранят на специальных опорах или подставках. В качестве примера на рис. 5.47 представлены некоторые схемы неправильного и правильного расположения моделей при их хранении.

В зависимости от требований, охлаждённая модель поступает на хранение или на сборку модельного блока, предварительно пройдя визуальный контроль и, при необходимости, зачистку и ремонт (удаление облоя, заделка раковин, утажин, трещин, затирка керосином неровностей поверхности и т.п.). Модели, имеющие тонкостенные керамические стержни, проходят рентгеновский контроль на предмет выявления поломки стержня. В случае обнаружения поломки стержня или его недопустимого смещения — модель бракуют.

Если модель имеет водорастворимый стержень, то её после извлечения из пресс-формы погружают в ванну с проточной водой (температура воды 24...26°C) и выдерживают в воде до полного растворения стержня (до 60 мин и более). В некоторых случаях, во избежание омыливания поверхности моделей, при удалении водорастворимых стержней воду подкисляют соляной кислотой, добавляя её в воду из расчёта 1 мл на 10 л воды.

После растворения стержня модель извлекают из воды, обдувают сжатым воздухом и насухо протирают сухой ветошью или марлей. В случае появления на поверхности модели белого налёта, представляющего собой нерастворимые химические соединения, модель промывают в водном растворе соляной кислоты. В этом случае раствор готовят из расчёта 7 мл соляной кислоты на 1 л воды. Модель визуально контролируют и, в случае необходимости, ремонтируют и зачищают от облоя. Готовая модель поступает на сборку модельного блока либо передаётся на хранение.

Если конфигурация модели очень сложная, то модель изготавливают из отдельных частей, которые впоследствии склеивают между собой. Способ склеивания используют крайне редко и только для изготовления моделей отливок из модельных составов, изготовленных на основе натуральных и (или) синтетических смол или канифоли.

Для склеивания отдельных частей модели используют специальные клеи, приготавливаемые как в условиях цеха, так и производимые предприятиями-изготовителями модельных составов. Основными составляющими применяемых клеев является растёртый органическо-

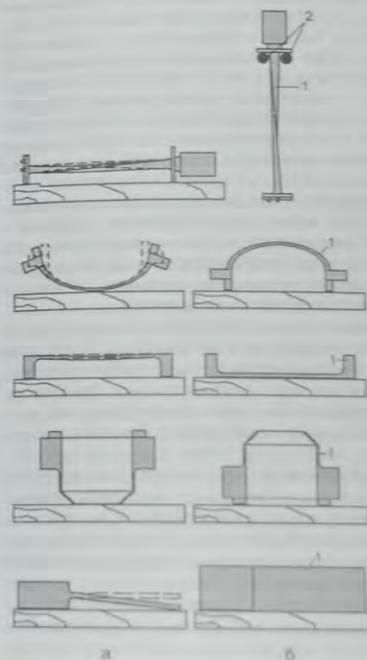


Рис. 5.47. Схема неправильного (а) и правильного (б) расположения моделей при их хранении: 1 — модель отливки; 2 — опорная вилка

го происхождения и полимерный материал, достаточно хорошо растворимый в данном растворителе при комнатной температуре. Клей, используемый в литейной цехе, готовят путём смешивания его жидких и твёрдых компонентов с последующей выдержкой раствора до полного растворения твёрдых компонентов клея в его жидкой составляющей.

В качестве клея, например, используют раствор полистирола в органическом растворителе следующего состава (по массе): 89% бутилацетата, 6,2% толуола и 4,8% полистирола или 60% бутилацетата, 30% ацетона, 5% толуола и 4,5% полистирола, 0,5% смолы синтетического происхождения. Приготовленный клей хранят в плотно закрывающейся непрозрачной ёмкости при комнатной температуре.

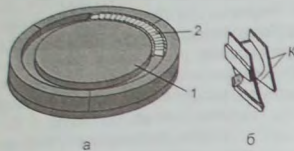


Рис. 5.48. Схема склеивания элементов модели в кондукторе (а) и отдельный элемент модели (б): 1 – кондуктор; 2 – часть собранной модели отливки

протирают тампоном, смоченным в изопропиловом спирте или другом органическом растворителе, после чего на эти поверхности кисточкой наносят клей, устанавливая склеиваемые элементы модели в кондуктор и соединяют их, прижимая склеиваемыми поверхностями друг к другу. После определённого времени выдержки в таком состоянии оба элемента модели оказываются склеенными. Длительность сушки склеенных моделей при комнатной температуре составляет, как правило, не менее 24 ч. При необходимости зазоры между склеенными деталями модельного блока проплавляют и (или) шпательюют ремонтным модельным составом.

Ремонт моделей. Процессу изготовления моделей сопутствует определённая доля брака, в котором выделяют брак окончательный и исправимый. В условиях массового и серийного производства мелкого литья ремонт моделей не проводят, ограничиваясь отбраковкой модельных звеньев или моделей отливок. Модели ремонтируют в случае единичного, мелкосерийного или серийного производства, если это сложные модели или модели, изготовление которых требуют длительного времени и больших затрат.

В зависимости от предъявляемых требований, к числу исправимых дефектов модели могут быть отнесены: царапины, небольшой поверхностный слай, утяжина, усадочная раковина, единичные (внутренние) воздушные пузыри, поверхностные трещины или сетка трещин на относительно небольшой площади поверхности стенки модели и т.п. По сути, для большинства моделей ремонт представляет собой шпательюку и зачистку их дефектов с использованием пластичного (мягкого при комнатной температуре) ремонтного модельного состава либо заправку и зачистку дефектного места парафином, либо затирку дефекта парафином, растворённым в скипидаре, бензине и т.п.

Для устранения поверхностного дефекта на данном месте модели наносят слой мягкого ремонтного состава либо капельным методом дефект заливают расплавленным модельным составом, либо на ремонтируемый участок поверхности модели с помощью тонкой кисти наносят слой перегретого расплава парафина. У воздуш-

ных поверхностных пузырей перед шпательюкой удаляют с помощью ножа поверхностную плёнку модельного состава.

После шпательюки с помощью скальпеля ланцета или ножа с поверхности модели удаляют излишки нанесённого ремонтного материала. В некоторых случаях участки поверхности модели, подвергшийся ремонту, протирают марлевым тампоном, смоченным в керосине или бензине. Для удаления неглубоких поверхностных спаев используют затирку поверхности модели марлевым тампоном, смоченным в керосине или бензине.

Необходимо отметить, что ремонт моделей допустим не во всех случаях. В частности, не желателен ремонт тонкостенных моделей отливок специального назначения, поскольку использование расплавленного модельного состава или парафина для заделки спаев на поверхности тонкой стенки модели может привести к её существованию на поверхности модели, приводит к понижению точности формы отливки.

Мякие при комнатной температуре ремонтные составы используют как для заделки (шпательюки) дефектов на поверхности моделей, так и выполнения галтелей в местах припаивания элементов ЛПС к модели отливки. К числу ремонтных относится, например, состав, состоящий (по массе) из 86% церезина нефтяного марки 65, 11% масла авиационного (МС-20) и 3% смазки пушечной, или сплав модельного состава КС-5Р с петролатумом в соотношении (по массе) от 1:2 до 1:5 и т.п.

Использование ремонтных составов – мера вынужденная и нежелательная, поскольку это не только повышает трудоёмкость и снижает производительность изготовления моделей, но и приводит как к понижению точности отливки и чистоты её поверхности, так и к образованию засоров в отливке, в особенности, если сушку первых слоёв КО проводят с использованием вакуума и (или) конструкция собранной модели и модельного блока недостаточно «жёсткая».

Облой с поверхности моделей удаляют механически, зачисткой, с помощью скальпеля, ланцета или острого ножа. По окончании удаления облоя поверхность модели обдувают струёй сжатого воздуха.

Длительность хранения моделей. Как правило, хранение моделей осуществляют в кондиционируемом помещении или шкафу при температуре 24...26°C. Длительность хранения моделей, как правило, не превышает трёх суток с момента их изготовления. Для некоторых моделей допускается более длительное (до недели) хранение при условиях, исключающих их поломку, растрескивание, деформацию и запыление.

Условия хранения моделей являются немаловажными факторами, во многом определяющими размерную и геометрическую точность отливки. При этом наиболее значительным конфигурационным изменениям подвержены модели, хранящиеся при температуре, превышающей вышеуказанные пределы, и имеющие большую величину КТЛР.

Ограничение длительности хранения моделей обусловлено тем, что с увеличением длительности хранения повышается их хрупкость и увеличивается вероятность нарушения размерной точности, точности формы и чистоты поверхности отливки.

Для моделей отливок ответственного (особо ответственного, специального) назначения, изготовленных из модельных составов, не содержащих воздух, минимально допустимую длительность выдержки изготовленной модели (время до начала монтажа модельного блока) – $D_{\text{в}}$, а также максимально допустимую длительность хранения моделей (с момента извлечения из пресс-формы до нанесения огнеупорного покрытия на модельный блок) – $D_{\text{х}}$ можно рассчитать по следующим эмпирическим формулам (в сутках) [233]:

$$D_{\text{в}} = 700 D_{\text{г}}^{0,1} + 0,021,$$

(5.12)

где $D_{\text{г}}$ – диаметр окружности, вписанной в сечение наибольшего термического узла модели отливки, м.

$$D_{\text{к}} = K_{\gamma} K_{\tau} K_{\delta} K_{\alpha} + D_{\text{в}},$$

$$K_{\gamma} = \frac{3}{\alpha_{\text{м}}^{1,3}}, \quad K_{\tau} = \frac{1,1}{\sqrt{\Delta t}}, \quad K_{\delta} = 3 \delta^{0,2} + 0,2, \quad K_{\alpha} = \frac{0,015}{\Gamma^{1,3}} + 0,7, \quad (5.13)$$

где $\alpha_{\text{м}}$ – коэффициент свободной линейной усадки используемого модельного состава, %; Δt – суточное отклонение температуры воздуха в помещении хранения моделей от её среднего значения, °C; δ – средняя толщина наиболее протяжённой стенки модели, м; Γ – наибольший габаритный размер модели отливки, м.

$D_{\text{к}}$ для моделей отливок с наибольшим габаритным размером от $\Gamma = 0,02$ до $\Gamma = 0,90$ м, со средней толщиной наиболее протяжённой стенки модели отливки от $\delta = 0,001$ до $\delta = 0,015$ м и диаметром окружности, вписанной в наибольший термический узел модели отливки до $D_{\text{г}} = 0,04$ м, изготовленных из модельных составов со средней величиной свободной линейной усадки от $\alpha_{\text{м}} = 0,2$ до $\alpha_{\text{м}} = 1,5\%$, с температурой заправки в пресс-форму от 60 до 70°C, для суточного перепада температуры запрессовки в помещении хранения моделей от $\Delta t = \pm 0,5$ до $\Delta t = \pm 5,0$ °C.

Пример 5.2. Рассчитать максимально допустимую длительность хранения модели отливки, если модель имеет среднюю толщину наиболее протяжённой стенки $\delta = 0,002$ м, наибольший габаритный размер $\Gamma = 0,18$ м, диаметр окружности, вписанной в наибольший термический узел модели отливки, $D_{\text{г}} = 0,005$ м, а модель отливки изготовлена из модельного состава со средней величиной свободной линейной усадки $\alpha = 0,5\%$ и хранится в помещении с величиной суточного изменения температуры $\Delta t = \pm 2$ °C.

Согласно уравнению (5.12) рекомендуемая минимально допустимая длительность выдержки изготовленной модели до начала монтажа модельного блока состав

$$D_{\text{в}} = 700 D_{\text{г}}^{0,1} + 0,021 = 700 \cdot 0,005^{0,1} + 0,021 = 0,1067 \text{ суток}$$

или $D_{\text{в}} = 24 \cdot 0,1067 = 2,56 \text{ ч} = 2 \text{ ч } 30 \text{ мин}$, а максимально допустимая длительность хранения такой модели, согласно уравнению (5.13), составит:

$$K_{\gamma} = \frac{3}{0,5^{1,3}} = 8,48, \quad K_{\tau} = \frac{1,1}{\sqrt{\Delta t}} = \frac{1,1}{\sqrt{2}} = 0,78;$$

$$K_{\delta} = 3 \delta^{0,2} + 0,2 = 3 \cdot 0,002^{0,2} + 0,2 = 1,06, \quad K_{\alpha} = \frac{0,015}{\Gamma^{1,3}} + 0,7 = \frac{0,015}{0,18^{1,3}} + 0,7 = 0,896,$$

$$D_{\text{к}} = K_{\gamma} K_{\tau} K_{\delta} K_{\alpha} + D_{\text{в}} = 8,48 \cdot 0,78 \cdot 1,06 \cdot 0,896 + 0,1067 = 6,39 \text{ суток}$$

Принимаем $D_{\text{к}} = 6$ суток.

5.8. Сборка (монтаж) и хранение модельных блоков

Сборку (монтаж) моделей в блоки, как правило, осуществляют либо механическим соединением, либо пайкой.

Сборка механическим соединением. Сборку механическим соединением применяют при изготовлении модельных блоков с ЛПС типа I (центральный стояк) в цехах серийного и массового производства мелких отливок общепромышленного назначения. Данный способ разработан в НИИТ Автопроме и предназначен для звеньевой сборки моделей отливок, изготовленных в многоместных пресс-формах завединой с питателем и частью модели стояка. Основными достоинствами данного способа является его простота и исключительно высокая производительность сборки модельных блоков.

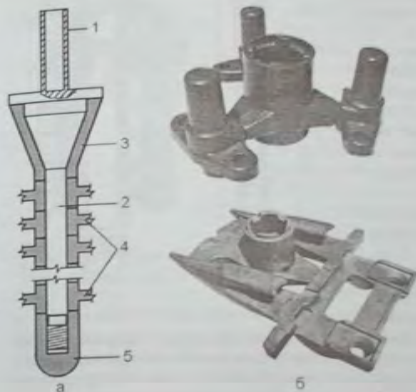


Рис. 5.49. Схема стояка (а) и модельные звенья (б) с тремя и одной моделью отливки

вант модель зумпфа. В некоторых конструкциях стояков-каркасов вместо модели зумпфа предусмотрено использование замка, также выполняющего роль зумпфа.

В настоящее время существует достаточно большое разнообразие конструкций стояков-каркасов, используемых для звеньевой сборки модельных блоков. В частности, на рис. 5.50 представлена схема стояка-каркаса нормализованной конструкции, используемого на автоматической линии нанесения огнеупорного покрытия на модельные блоки.

Как и в вышеописанном случае (см. рис. 5.50), сборку модельного блока осуществляют путём насаживания на стояк-каркас 3 ЛВ 1 и модельных звеньев 2. После сборки модельного блока на торец стояка-каркаса надевают фиксирующий колпачок 5 (замок). Впоследствии на колпачок 5 наносят тонкий слой модельного состава 4. На замок слой модельного состава наносят после окончания сборки модельного блока путём погружения колпачка на 1 с в расплав модельного состава.

Важным элементом технологии при сборке блоков способом механического соединения является плотность прилегания торцов используемых звеньев моделей.

Принцип сборки механическим соединением (см. рис. 5.49 а) состоит в последовательном насаживании на металлический (алюминиевый) стояк-каркас 2 модели ЛВ 3 и модельных звеньев, которые выполнены завединой с элементом стояка (штулкой), питателями 4 и моделями отливок. Удерживает звенья на стояке-каркасе – модель зумпфа 5. Во избежание смещения (проворачивания) звеньев относительно друг друга при нанесении огнеупорного покрытия на модельный блок, на торцах штулок звеньев выполнены соответствующие пазы (см. рис. 5.49 б), обеспечивающие жесткое зацепление между смежными звеньями, а на торце стояка-каркаса выполнена резьба, на которую навинчи-

При неплотном прилегании указанных элементов модельного блока в образующийся зазор затекает огнеупорная суспензия, используемая для нанесения первого слоя огнеупорного покрытия на модельный блок. Впоследствии эта суспензия твердеет и образует в КО тонкий керамический "гребешок". При заливке КО металлом поток расплава смывает этот "гребешок" и в отливке образуется дефект – зазор. То есть при сборке модельного блока механическим соединением зазоры в местах стыка звеньев между собой, с ЛВ и зумпфом – недопусти-

мы.
Сборка (монтаж) пайки. Пайка – основной способ сборки модельных блоков с ЛПС типа II...VIII. Для сборки модельных блоков мелких отливок с ЛПС типа I способ сборки методом припаивания используют только в условиях опытного, единичного или мелкосерийного производства отливок.

Для сборки модельного блока путем пайки моделей отливок к стойке, модели отливок изготавливают совместно с питателями. При этом стоек блока представляет собой монолитный стержень (каркас) из алюминиевого сплава, оснащенный полый стальной рукояткой, что схематично представлено на рис. 5.51, где обозначены: 1 – рукоятка (стальная трубка); 2 – каркас стойки; 3 – слой модельного состава.

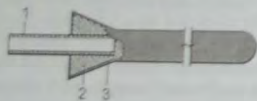


Рис. 5.51. Стойка

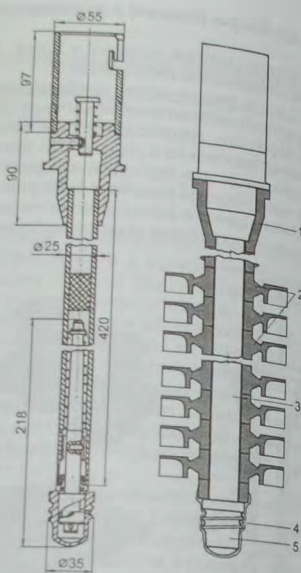


Рис. 5.50. Стойка-каркас нормализованной конструкции для автоматической линии нанесения огнеупорного покрытия на модельные блоки



Рис. 5.52. Нож (1) и наконечник электропаяльника (2)

Для сборки на стойке, путем его 2-х...3-х кратного погружения в расплав перегретого модельного состава на 1...3 с, с периодичностью в 30...60 с, наносят слой модельного состава толщиной 2...4 мм. Во избежание растрескивания слоя модельного состава на стойке в холодное время года, алюминиевый стоек нагревают путем его выдержки в расплаве перегретого модельного состава в течение 10...40 с (при пер-

вом погружении). После охлаждения нанесенных слоев модельного состава до комнатной температуры к поверхности стойки припаивают модели отливок.

Для пайки используют стандартные электропаяльники или стальные ножи (см. рис. 5.52) со скругленными концами лезвий и толщиной лезвия 2...3 мм, которые предварительно нагревают на электроплитке закрытого типа.

Для использования электропаяльников их медные наконечники предварительно расщипывают и затачивают до толщины лезвия ножа и ширины 8...15 мм.

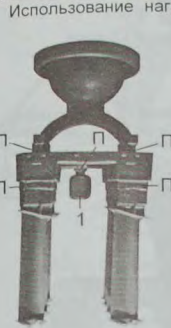


Рис. 5.53. Модельный блок турбинных лопаток

Использование нагретых "ножей" (электропаяльника) предполагает установку "ножа" (наконечника электропаяльника) над местом пайки, оплавляя нагретым лезвием "ножа" (наконечником электропаяльника) поверхностей паяемых элементов модельного блока, быстрого выведения "ножа" (наконечника электропаяльника) из зоны плавления и соединения (легкий прижим) паяемых элементов. Удержание паяемых элементов прекращают после окончания затвердевания модельного состава в области пайки. При необходимости, по окончании пайки, образовавшийся шов "проплавляют" для устранения зазоров, образовавшихся в результате пайки между отдельными элементами модельного блока.

В качестве примера на рис. 5.53 представлен модельный блок с восемью моделями турбинных лопаток, собранный вышеописанным способом, где на литнике между рядами моделей турбинных лопаток припаяна модель образца прямоугольной формы 1 используемого, впоследствии для определения химического состава сплава отливок. Места пайки элементов модельного блока на рис. 5.53 обозначены буквой П.

Сравнивая периодически нагреваемый на электроплитке нож и постоянно нагретый электропаяльник следует отметить, что для монтажа модельных блоков моделей отливок ответственного назначения более предпочтительным является использование электропаяльника. Данное предпочтение обусловлено тем, что температура на наконечнике электропаяльника в процессе его использования, в отличие от периодически нагреваемого лезвия ножа, изменяется в незначительных пределах. В свою очередь, это обстоятельство позволяет модельщику более точно и аккуратно установить модель или литник к месту пайки, а также аккуратно, без потёков модельного состава, выполнить пайку места стыка соединяемых элементов модельного блока.

Во избежание повреждения модели отливки, пайку модели отливки и, например, прибыли или питателя, не следует проводить непосредственно на поверхности модели отливки, что схематично представлено на рис. 5.54а. В этом случае целесообразно, на поверхности модели отливки в месте пайки выполнить платик, что схематично представлено на рис. 5.54б.

Наличие платика, выполненного заедно с моделью отливки в пресс-форме, позволяет не только с достаточно высокой степенью точности установить данный элемент ЛПС на теле отливки, но и, при определённой форме платика (см. рис. 5.54а), обеспечить достаточно высокую прочность паяного соединения.

Для обеспечения прочности модели ЛПС, собираемой пайкой, паяемые соединения выполняют в пазах, как это, например, представлено на рис. 5.55, где представлена схема модели кольцевой прибыли с пазами (см. рис. 5.55а) и модели прибыли с литниковыми ходами, стойком и ЛВ (см. рис. 5.55б).

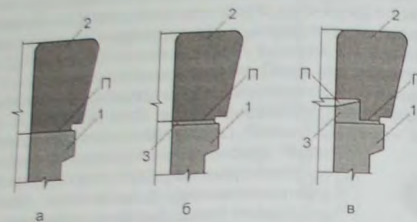


Рис. 5.54. Схемы выполнения соединений модели прибыли и отливки (П – место пайки): 1 – модель отливки; 2 – модель прибыли; 3 – пластик

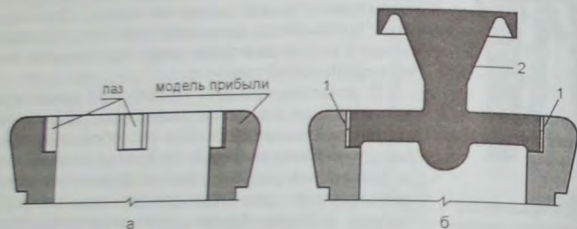


Рис. 5.55. Схемы выполнения паяемых соединений моделей литниковых ходов и прибыли: 1 – место пайки; 2 – ЛВ

С целью повышения прочности пайки используют легкоплавкие монтажные сплавы, изготовленные на основе парафина, канифоли и т.п. В частности для пайки моделей, изготовленных из модельных составов типа Р-3, КС-5Р, КС-5А и т.п., используют монтажный сплав (припой), содержащий (по массе): 50% парафина, 40% стеарина и 10% этилцеллюлозы. Перед пайкой контактную поверхность одного из элементов модельного блока погружают в расплав монтажного сплава, перегретый до 90...120°C, и выдерживают в нём 1...3 с. После выдержки элемент модельного блока извлекают из расплава, быстро устанавливают по месту пайки и прижимают его смоченной поверхностью к соответствующему элементу модельного блока. По окончании затвердевания излишки припоя срезают скальпелем с поверхности модельного блока, а шов дополнительно пропаявают паяльником или ножом, обеспечивая непрерывность паяного шва.

По окончании пайки поверхность образовавшегося шва зачищают, выполняя плавные переходы от элемента к элементу модельного блока. В случае необходимости выполнения галтелей большого радиуса используют ремонтный модельный состав. Используя ремонтный состав, вручную, выполняют галтели любого радиуса и степени сложности. По окончании выполнения галтелей или паяного шва, его поверхность протирают ватным тампоном, пропитанным керосином, бензином и т.п. В некоторых случаях с помощью мягкой (колонковой) кисточки на шов наносят тонкий слой расплавленного парафина.

Если модель отливки характеризуется достаточно большими габаритами (габаритом) илии недостаточной жёсткостью конструкции, то для монтажа модельного блока используют несущий металлический каркас. В качестве примера использования несущего металлического каркаса на рис. 5.56, а представлена схема модельного блока модели отливки кольцевого типа, а на рис. 5.56, б представлена схема разреза КО данного блока.

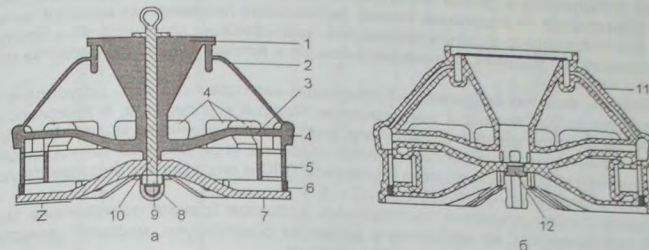


Рис. 5.56. Схема модельного блока (а) и разрез КО (б): 1 – ЛВ; 2 – выпор; 3 – литниковый ход; 4 – прибыли; 5 – модель отливки; 6 – керамический опорный стержень; 7 – каркас; 8 – колпачок из модельного состава; 9 – зажимная гайка; 10 – несущий стержень каркаса; 11 – КО; 12 – керамическая пробка-заглушка

В рассматриваемом случае для обеспечения удаления каркаса из КО после выплавления из неё модельного состава, в процессе нанесения огнеупорного покрытия на блок, с поверхностей, обозначенных на рис. 5.56, а буквой Z, постоянно удаляют огнеупорную суспензию. Пробку-заглушку 12 устанавливают на КО после выплавления из неё модельного состава и закрепляют в теле КО с помощью самозатвердеющей огнеупорной пасты.

Хранение модельных блоков. Модельные блоки, как и модели, следует хранить в кондиционируемом помещении при температуре 24...26°C, не допуская попадания на них прямых солнечных лучей, пыли, вдали от нагревательных элементов и установок. Хранение моделей, в зависимости от типа используемой ЛПС, осуществляют на стеллажах, этажерках, подвесных конвейерах-накопителях, в шкафах или на столе, не допуская контакта модельных блоков между собой.

При выборе положения и способа хранения моделей и модельных блоков исходят, в основном, из того, что при хранении модельный блок должен находиться в устойчивом положении, модель не должна опираться на опору необрабатываемыми в отливке поверхностями, а положение модели или модельного блока при хранении не должно приводить к их деформации или поломке.

Срок хранения модельных блоков в вышеуказанных условиях, как правило, не превышает 3-х суток. Если ограничение срока хранения распространяется и на модель отливки, то, соответственно, срок хранения модельного блока определяется оставшимся количеством дней хранения использованной в блоке модели отливки.

Как правило, собранные модельные блоки мелких отливок не хранят и немедленно передают на участок изготовления КО. Собранные блоки средних и крупных отливок выдерживают в модельном отделении в течение 1-го часа, после чего их передают в отделение изготовления КО, где до нанесения на них первого слоя огнеупорного покрытия также выдерживают на воздухе в течение 1...2 ч.

5.9. Дефекты моделей

Дефекты в моделях могут образовываться как систематически, так и периодически, в том числе сезонно. Виды, количество и размеры образующихся дефектов зависят от достаточно большого числа факторов, в частности: от качества дефектов состава и его подготовки к запрессовки в пресс-форму, технологичности модели отливки, стабильности и уровня технологии изготовления моделей, стабильности температуры воздуха на модельном участке, ритмичности производства моделей, качества подготовки пресс-формы к запрессовке, квалификации исполнителей и культуры производства моделей, степени механизации и автоматизации производства моделей и т.п.

Дефекты моделей разделяют на следующие категории: дефекты допустимые и недопустимые, исправимые и неисправимые. Каждый вид дефекта, в зависимости от его размеров (величины), формы, тила, места расположения на модели и требований к качеству модели, соответственно, относят к определённой категории для каждой конкретной модели отливки и элемента ЛПС и оговаривают в соответствующей НТД на каждую конкретную отливку.

Модели с недопустимым и неисправимым дефектом бракуют окончательно, модели с недопустимым, но исправимым дефектом ремонтируют, модели с допустимым дефектом берут в производство без ремонта.

По времени происхождения дефекты моделей можно объединить в две группы. В группу 1 входят дефекты, образующиеся в модели при её формировании в пресс-форме. Эти дефекты (спай, утяжины, усадка, трещины, неоформление тела и т.п.) образуются в результате нарушения технологии подготовки модельного состава и пресс-формы к запрессовке, а также нарушения технологии запрессовки модельного состава в пресс-формы.

К группе 2 относят дефекты моделей, образующиеся после извлечения модели из пресс-формы (усадка, утяжины, трещины, деформация, коробление, поломка, царапины, вздутие поверхности и т.п.).

Образование дефектов группы 2 предупреждают путём использования более технологичного модельного состава, проведением соответствующих организационных мероприятий, повышением квалификации кадров и т.п. Например, значительное коробление и деформацию моделей предупреждают путём обеспечения в помещениях хранения моделей и нанесения огнеупорного покрытия температуры в пределах от 24°C до 26°C за счёт устранения сквозняков на модельном участке, где происходит охлаждение моделей, и участке нанесения огнеупорного покрытия и т.д.

Избегать поломок, царапин, выбоин и наплывов на поверхности модели можно при аккуратном обращении с ней в процессе обработки, монтажа модельного блока, транспортных операциях, при манипуляциях и т.д.

Значительно сложнее обстоит дело с дефектами группы 1, поскольку на их появление прямое или косвенное влияние оказывают один или группа факторов, направление изменения которых не всегда возможно предопределить. Тем не менее, выполняя мероприятия, приведенные в табл. 5.41, величину вероятности появления того или иного дефекта в модели можно значительно понизить.

Используя данные табл. 5.41, можно намечать соответствующие корректировки в технологическом процессе изготовления моделей для предупреждения образования в них дефектов. При этом необходимо отметить, что степень влияния того или иного технологического параметра, указанного в табл. 5.41, на образование и, соответственно, предупреждение появления того или иного дефекта – не равноценна. Помимо этого, причиной образования какого – либо дефекта может быть причина, не указанная в табл. 5.41.

Таблица 5.41

Мероприятия по предупреждению образования дефектов в монолитных моделях

Дефект	Параметр, влияющий на процесс образования дефекта												
	спай	утяжина	коробление	воздушная раковина	всплывание	повышенная усадка	трещина	недопрессовка	низкая чистота	или поверхность	скапливание*	смятение	пломка или деформация стержня
Температура модельного состава при запрессовке	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Давление запрессовки модельного состава	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Длительность выдержки модельного состава под давлением	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Длительность охлаждения модели в пресс-форме	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Длительность выдержки модели на воздухе	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Скорость заполнения пресс-формы модельным составом	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Температура пресс-формы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Частота смазки рабочих поверхностей пресс-формы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Содержание воздуха в модельном составе	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Дисперсность пузрышков в модельном составе	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Содержание твердого наполнителя в модельном составе	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Содержание влаги в твердом наполнителе	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Содержание в модельном составе пластификатора	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Температура керамического стержня	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Температура воды в ванне удаления водорастворимых стержней	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Температура воздуха в помещении хранения моделей и модельных блоков, нанесения огнеупорного покрытия	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Длительность перемешивания пастообразного модельного состава	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Содержание воды в модельном составе	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Содержание воздуха в модельном составе	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. Знак (+) обозначает необходимость увеличения значения параметра, знак (-) – уменьшение, знак (0) – стабилизация значения параметра. * – скапливание поверхности тела модели при обработке резанием.

Спай. Спаи на модели образуются в период заполнения пресс-формы пастообразным или жидким модельным составом. Как правило, их образование обусловлено либо неоднородностью консистенции запрессовываемого пастообразного модельного состава, либо низкой удельной скоростью поступления модельного состава в пресс-форму. Поэтому для предупреждения образования спаев необходимо повысить однородность и температуру модельного состава, если используется пастообразный воздушнонаполненный или жидкий модельный состав и, соответственно, понизить температуру модельного состава, если используется пастообразный модельный состав, не содержащий воздух. В ряде случаев целесообразно увеличить поперечные сечения литниковых ходов в пресс-форме и (или) улучшить условия выхода воздуха из рабочих полостей пресс-формы во время её заполнения модельным составом. Весьма эффективным технологическим приемом, предупреждающим образование спаев в моделях, является повышение начальной температуры пресс-формы. Другие мероприятия, указанные в табл. 5.41, также способствуют получению модели без спаев, но менее эффективны.

Утяжина. Утяжины могут образовываться как в термических узлах модели, так и на её стенках в период охлаждения модели в пресс-форме или вне её. В отличие от усадочной раковины, утяжина представляет собой вмятину с гладкой поверхностью на поверхности модели. Для предотвращения образования утяжин в моделях из воздушнонаполненных модельных составов следует строго выдерживать определённое содержание воздуха в составе и, при необходимости, либо повысить давление прессования модельного состава, либо увеличить длительность выдержки модельного состава под давлением в пресс-форме, либо увеличить содержание воздуха в модельном составе.

Причиной образования утяжин на тонких стенках моделей является неоднородность консистенции запрессовываемого модельного состава, полученная в результате плохой подготовки модельного состава к запрессовке в пресс-форму.

Оценивая склонность различных модельных составов к образованию утяжин, следует отметить, что к образованию утяжин в моделях наиболее склонны модельные составы, изготовленные на основе материалов с низким коэффициентом теплопроводности, высокой теплоёмкостью и низкой твёрдостью.

Коробление. Коробление моделей происходит после их извлечения из пресс-формы. Коробление является разновидностью деформации и вызвано внутренними напряжениями, возникшими в теле модели в процессе её охлаждения в пресс-форме и вне её.

При всех прочих равных условиях причинами коробления модели являются: нетехнологичная конструкция модели отливки, недостаточная выдержка модели в пресс-форме, нарушение температурного режима хранения модели, неправильное расположение модели при её хранении и переохлаждение модели, которое она испытывает в период сушки первых трёх слоёв огнеупорного покрытия на модельном блоке. Наименее всего короблению подвержены модели, изготовленные на основе аморфных материалов, например, смолы и обладающие наименьшим КТЛР.

Наиболее эффективными мерами предупреждения коробления являются: увеличение времени охлаждения модели в пресс-форме (драйвере), недопущение существенного охлаждения или нагрева модели при её хранении, использование огнеупорных суспензий, приготовленных на основе водного связующего.

Воздушная раковина вследствие поверхности ("апельсиновая корка"). Воздушные раковины в моделях, не содержащих воздух, по большей части являются дефектами, возникшими в результате случайного замешивания воздуха в модельный состав в процессе его перемешивания. Значительно реже данные дефекты

возникают в результате захвата воздуха потоком пастообразного модельного состава при заполнении рабочих полостей пресс-формы.

Вспучивание поверхностей моделей из воздушнонаполненных модельных составов, как правило, является следствием плохого перемешивания пастообразного модельного состава (в модельном составе отсутствуют крупные воздушные пузыри), высокого давления запрессовки модельного состава, чрезмерно длительной выдержки запрессованного модельного состава под давлением в пресс-форме, нагрева моделей и пр.

Повышенная усадка. В основном усадка модельного состава определяется природой материала, являющегося основой в каждом конкретном модельном составе. То есть, если модельный состав выполнен на основе парафина, то его свободная линейная усадка будет практически равняться усадке парафина (~0,6%), для модельных составов на основе минеральных восков свободная линейная усадка составит ~1,0% и т.д. С увеличением доли наполнителя в модельном составе усадка последнего будет понижаться.

Для понижения температуры пресс-формы, понижение температуры запрессовки модельного состава, повышение давления и удельной скорости запрессовки модельного состава в пресс-форму, увеличение длительности выдержки модельного состава под давлением. Если затвердевание и охлаждение модели в пресс-форме проходит в условиях затруднённой усадки, то наиболее рациональным для снижения усадки является увеличение длительности охлаждения модели в пресс-форме. Следует отметить, что с повышением температуры воздуха в модельном отделении и отделении изготовления КО усадка моделей понижается.

Трещина (разрушение модели). Трещина – самый нежелательный дефект любого изделия, если только это изделие не предполагается разрушить. Дело в том, что в 90% случаев образование трещин в моделях всецело зависит от природы модельного состава (склонности модельного состава к образованию трещин).

Трещины в моделях образуются как при охлаждении в пресс-форме, так и вне её (в процессе извлечения модели из пресс-формы, в процессе охлаждения и хранения модели, в процессе удаления из модели водорастворимого стержня, при сушке первых слоёв огнеупорного покрытия и т.д.). К образованию трещин наименее склонны модельные составы, имеющие свободную линейную усадку до 0,6% и аморфную структуру.

Трещины в моделях могут образоваться не только в результате низкой трещиностойчивости модельного состава, но и в результате неправильного выполнения конструкции пресс-формы. Наиболее эффективными мероприятиями, направленными на повышение трещиностойчивости моделей, являются мероприятия, уменьшающие величину свободной линейной усадки модельного состава. К числу таких мероприятий, например, относится введение в модельный состав наполнителя и повышение (понижение) начальной температуры пресс-формы.

Наиболее часто образование трещин при охлаждении и хранении моделей, а также нанесении первых слоёв огнеупорного покрытия, наблюдается в тонкостенных моделях с керамическим стержнем. В этих случаях целесообразно заменить марку модельного состава либо ввести в модельный состав твёрдый наполнитель в количестве 25...50% (по объёму).

Неоформление тела (недопрессовка, недолив, незалив). Неоформление тела – это дефект модели, образующийся в пресс-форме в процессе её заполнения пастообразным или жидким модельным составом и, в основном, обусловлен низкой текучестью модельного состава. Для предупреждения образования данного дефекта необходимо подобрать оптимальную температуру запрессовки модельного состава,

повысить начальную температуру пресс-формы, повысить удельную скорость поступления модельного состава в пресс-форму, повысить давление запрессовки и обеспечить свободное удаление воздуха из пресс-формы в процессе её заполнения модельным составом, повысить однородность модельного состава.

Низкая чистота поверхности. Чистота поверхности модели определяется рядом факторов, основными из которых являются чистота и начальная температура рабочей поверхности пресс-формы, температура и давление запрессовки модельного состава, природа модельного состава. С повышением чистоты и начальной температуры рабочей поверхности пресс-формы, повышением давления и температуры запрессовки модельного состава, увеличением доли аморфных компонентов в его составе и увеличением температурного интервала пастообразного состояния модельного состава чистота поверхности модели возрастает.

Существенное значение для чистоты поверхности модели имеет частота и качество смазывания рабочих поверхностей пресс-формы. Чем реже смазывается рабочая поверхность пресс-формы, тем выше чистота поверхности модели. При этом периодичность смазывания пресс-формы должна обеспечивать свободное извлечение модели из неё. Не рекомендуется на поверхность пресс-формы наносить толстый слой смазки.

Скалывание поверхности тела модели при обработке резанием. Данный дефект возникает в процессе срезания или зачистки облёа модельного состава по линии разрёма пресс-формы с помощью скальпеля, ланцета или специального ножа. Причиной скалывания модельного состава является чрезмерная твёрдость и хрупкость модельного состава. Для придания пластичности в модельный состав следует добавить пластификатор.

В случае невозможности применения пластификатора необходимо организовать работу модельщицы таким образом, чтобы обработка модели проводилась непосредственно после её извлечения из пресс-формы.

Смещение стержня. Основной причиной смещения стержней в моделях является наличие зазора между пресс-формой и знаковыми частями стержня. Зазор может образоваться в результате нарушения размеров посадочных поверхностей стержня, износа посадочных поверхностей пресс-формы либо неправильной сборки пресс-формы.

Поломка или деформация стержня. Поломка или деформация стержня происходит в результате приложения чрезмерных усилий к стержню при его установке в знаковые части пресс-формы, нарушения размеров стержневых знаков, недостаточной прочности стержня, перекоса стержня, повышенной вязкости пастообразного модельного состава и т.п.

Зазор между телом модели и стержнем. Это специфический дефект, который наиболее часто образуется в моделях турбинных лопаток с керамическими стержнями. Дефект образуется со стороны вогнутой поверхности тела пера ("корыта") турбинной лопатки. Причиной образования данного дефекта является отсутствие или недостаточная величина адгезионных сил между модельным составом и стержнем. Величина образующегося дефекта определяется, в основном, величиной свободной линейной усадки используемого модельного состава. Чем ниже данный показатель модельного состава, тем меньше величина образующегося зазора.

В вышеприведенной классификации дефектов моделей не указаны дефекты, образующиеся в результате смещения относительно друг друга отдельных частей пресс-формы, дефекты, образующиеся в результате износа поверхностей пресс-формы и т.п. Эта группа дефектов встречается достаточно редко, поскольку все пресс-формы перед началом эксплуатации проходят определённую процедуру проверки и, в случае появления таких дефектов, данную пресс-форму сдают в ремонт.

5.10. Регенерация модельных составов

Расход (потери) модельного состава на тонну годного литья зависит от многих факторов, в число которых входят: средняя приведенная толщина модельного блока, величина открытой пористости КО, вязкость жидкого модельного состава, способ выплавления, положение в пространстве блока в процессе выплавления из него модельного состава и пр.

Для оценки расхода модельного состава на тонну годных отливок используют данные табл. 5.42, где приведен ориентировочный расход модельного состава, не содержащего твёрдый, нерастворимый в пластификаторе, наполнитель, для стальных отливок средней сложности общемашиностроительного назначения в зависимости от их массы [153].

Таблица 5.42
Ориентировочный расход модельного состава на тонну годных стальных отливок средней сложности

Масса отливок, г	До 20	20–40	40–60	60–100	100–200	200–600	600–1500	Более 1500
Расход модельного состава (при 10% потерь), кг	90	80	70	60	50	45	40	До 40

Данные, приведенные в табл. 5.42, указаны с учётом вторичного (многократного) использования модельного состава. В том случае, если модельный состав используется только один раз, его расход возрастёт в 5...12 раз. Поэтому с целью повышения рентабельности производства отливок модельные составы, бывшие в употреблении, целесообразно использовать многократно, проводя их регенерацию (регенерация – от позднелатинского *regeneration* – возрождение, восстановление [87]). Применительно к модельным составам, процесс их регенерации включает физическую и химическую составляющую. То есть очистку сплава от посторонних частиц физическими методами и восстановление химического состава материала химическими методами.

В цехах литья по выплавляемым моделям возврат модельного состава, не содержащего твёрдый наполнитель, поступает из модельного отделения и из отделения изготовления КО (ГО, форм) после выплавления модельного состава. При этом возврат модельного отделения (некачественные модели отливок и элементов ЛПС), не содержащий стержня (керамические, графитовые, водорастворимые), можно использовать повторно без регенерации как для изготовления моделей отливок, так и для изготовления элементов ЛПС. Другие виды возврата модельного состава для повторного использования следует регенерировать.

Регенерации, как правило, подвергают лишь те модельные составы, у которых величина кинематической вязкости самого состава или его воскоподобной части при 100°С, не превышает 30...40 сСт. Кроме того, при назначении температуры регенерации модельного состава всегда следует учитывать его температуру "пережога", которая должна быть выше максимальной температуры регенерации не менее чем на 50°С.

Для большинства используемых модельных составов процесс регенерации сводится к удалению из них посторонних включений, к которым, как правило, относятся твёрдые частицы (песчинки обсыпчного материала КО, частицы КО и т.п.) и вода.

У модельных составов, содержащих твёрдый наполнитель, нерастворимый в жидком пластификаторе, процесс регенерации также возобновляется частичным

или полным удалением наполнителя. Помимо этого, в процессе регенерации из модельных составов, содержащих воски природного происхождения и в качестве твердого наполнителя карбамид, частично удалается биурет (Биурет – амид аллофановоска с аммиаком. Аммиак, в свою очередь, образуется в результате разложения карбамида при 135°C. В модельных составах биурет – смолистое вещество чёрного цвета, ограниченно растворимое в модельном составе, продукт химического взаимодействия мочевины и некоторых составляющих бурогоугольного и/или торфяного воска).

В основу большинства промышленных способов регенерации модельных составов по удалению из них инородных твердых частиц положен принцип их осаждения в слое жидкого модельного состава за счёт различия плотностей этих частиц и жидкого модельного состава. Воду из модельного состава, в основном, удаляют путём её выпаривания, для чего модельный состав расплавляют и нагревают расплав до 120...150°C. При данной температуре расплав выдерживают определенное время, после чего, не перемешивая, сливают из плавильной ёмкости в противни или ложницы, фильтруя при этом расплав через 6...8 слоёв марли. Для фильтрации слой марли укладывают на сетку, изготовленную из нержавеющей стальной или латунной проволоки, с размером ячейки 2...3 мм.

За время отстаивания расплава модельного состава твёрдые частицы, обладающие плотностью, большей, чем плотность расплава, оседают на дно плавильной ёмкости, а вода, находящаяся в расплаве, испаряется. То есть длительность процесса регенерации модельного состава в этом случае определяется временем оседания в его расплаве твёрдых частиц и, если есть, биурета, а также длительностью испарения воды из модельного состава.

Оседание частицы в жидкой среде под действием гравитации зависит от её размера, формы, разности плотностей материала частицы и жидкого модельного состава, высоты уровня расплава в баке и т.п. Расчёт длительности оседания частицы сферической формы в жидкости оценивают по формуле Стокса, которая, применительно к рассматриваемому случаю, примет вид:

$$\tau = \frac{18 \cdot \eta \cdot h}{g \cdot D^2 \cdot (\rho_H - \rho_{MC})} \quad (5.14)$$

где η – динамическая вязкость жидкого модельного состава при температуре перегрева (T_H), Па·с; h – толщина слоя регенерируемого модельного состава в установке регенерации, м; $g=9,81 \text{ м/с}^2$; D – диаметр частицы, оседающей в жидком модельном составе, м; ρ_H и ρ_{MC} – плотность материала оседающей частицы и модельного состава при температуре T_H соответственно, кг/м³.

Пример 5.3. Рассчитать длительность оседания частиц кристаллического кварца сферической формы диаметрами $D_{0,1}=0,1 \text{ мм}$ и $D_{0,04}=0,04 \text{ мм}$ в слое жидкого модельного состава, не содержащего воду, при $h=0,5 \text{ м}$, если плотность SiO_2 составляет $\rho_H=2650 \text{ кг/м}^3$, плотность жидкого модельного состава при 140°C составляет $\rho_{MC}=850 \text{ кг/м}^3$, а величина его кинематической вязкости – $\nu=9 \text{ сСт}$.

Рассчитав величину динамической вязкости (η) данным модельном составе, если $1 \text{ сСт}=10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$:

$$\eta = \nu \cdot \rho_{MC} = 9 \cdot 10^{-6} \cdot 850 = 0,00765 \text{ Па·с}$$

Полученное значение динамической вязкости подставляем в уравнение (5.14) и вычисляем длительность оседания частиц в слое жидкого модельного состава:

$$\tau_{0,1} = \frac{18 \cdot \eta \cdot h}{g \cdot D^2 \cdot (\rho_H - \rho_{MC})} = \frac{18 \cdot 0,00765 \cdot 0,5}{9,81 \cdot 0,0001^2 \cdot (2650 - 850)} = 380 \text{ с};$$

$$\tau_{0,04} = \frac{18 \cdot \eta \cdot h}{g \cdot D^2 \cdot (\rho_H - \rho_{MC})} = \frac{18 \cdot 0,00765 \cdot 0,5}{9,81 \cdot 0,0004^2 \cdot (2650 - 850)} = 2375 \text{ с}.$$

В результате расчёта получаем следующие значения:
 - для частицы SiO_2 диаметром 0,1 мм время оседания – 380 с;
 - для частицы SiO_2 диаметром 0,04 мм время оседания – 2375 с.
 Анализ полученных данных свидетельствует, что с уменьшением диаметра частицы длительность её оседания на дно бака, в котором проводят отстаивание расплава модельного состава, резко возрастает.

В реальных условиях очистки модельных составов путём отстаивания величина τ существенно больше (в 1,5 и более раз) значения, рассчитанного по уравнению (5.14). Данное несоответствие между расчётными и практическими значениями длительности оседания частиц в жидкости обусловлено, в основном, двумя факторами. Во-первых, форма реальных твёрдых частиц, как правило, весьма далека от сферической, во-вторых, в объёме расплава модельного состава, обладающего низкой вязкостью, как и в объёме любой другой нагретой невязкой жидкости, всегда существуют восходящие и нисходящие потоки расплава, увлекающие за собой наиболее мелкие инородные частицы.

Помимо этого, если в модельном составе присутствуют капельки замешанной в него воды, нагрев расплава модельного состава до температуры более 100°C приводит к её испарению. Всплывающие к свободной поверхности пузырьки пара, за счёт эффекта флотации, поднимают твёрдые частицы, встречающиеся на их пути, что также препятствует оседанию твёрдых частиц. Поэтому при наличии в регенерируемом модельном составе воды и проведении регенерации методом отстаивания при $t \geq 100^\circ\text{C}$ длительность очистки модельного состава от твёрдых частиц ($\tau_{0ч}$) составит:

$$\tau_{0ч} = \tau_{\text{вып}} + \tau, \quad (5.15)$$

где $\tau_{\text{вып}}$ – длительность выпаривания воды из расплава модельного состава.
 В случае проведения регенерации методом отстаивания жидкого модельного состава при температуре $t=95...98^\circ\text{C}$, в зависимости от высоты столба расплава модельного состава в баке регенерации, длительность регенерации, как правило, составляет 30...120 мин. При этом случайные твёрдые частицы и вода из модельного состава оседают на дно бака.

Следует отметить, что вода, оставшаяся в модельном составе после проведения вышеописанного способа регенерации модельного состава, практически, не оказывает влияния на качество изготавливаемых моделей из данного модельного состава, если этот модельный состав относится к классу воздушнонаполняемых модельных составов.

На отечественных предприятиях, как правило, используют установки регенерации модельных составов собственной конструкции, к числу которых относятся установки непрерывного действия, схематично представленные на рис. 5.57.

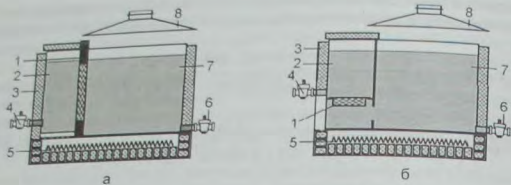


Рис. 5.57. Установки регенерации модельного состава, непрерывного действия с вертикальным (а) и горизонтальным (б) расположением фильтрующей кассеты

Установки, представленные на рис. 5.57, состоят из стального бака, разделённого кассетой 1 на приёмную 7 и раздаточную 2 часть. Кассета 1 представляет собой набор металлических сеток с величиной ячеек 10 мм, 2 мм, 0,63 мм и 0,063 мм, установленных вертикально на расстоянии 15...20 мм друг от друга, в указанной последовательности, со стороны приёмной части бака.

С внешней стороны плавильный бак защищён слоем теплоизоляционного материала 3. Нагрев бака осуществляется с помощью электронагревательного элемента 5. Для выпуска модельного состава из приёмной ёмкости 7 бак, оснащён краном пробкового типа 6. Для выпуска модельного состава из раздаточной части, бак оснащён краном пробкового типа 4. В верхней части установки установлен зонт местной вытяжной вентиляции 8.

Для регенерации в приёмную часть плавильного бака загружают регенерируемый модельный состав, где он расплавляется и нагревается до температуры 140...150°C и выдерживается в течение 2...12 ч. За время отстаивания твёрдые частицы, находящиеся в модельном составе, оседают на дно приёмной части бака, вода испаряется, а расплав, фильтруясь через сеточные фильтры в кассете, перетекает в раздаточную часть бака.

Плавильный бак и кассету установок периодически очищают с использованием скребков и горячей воды (для плавильного бака) и струи горячей воды (для кассеты). Не рекомендуется в установке с вертикальным расположением кассеты (см. рис. 5.57, а) проводить регенерацию модельного состава, содержащего биурет.

Рассматривая конструкцию установок, представленных на рис. 5.57, следует отметить, что длительность выдержки расплава модельного состава во многом определяется скоростью испарения из него воды. В случае, если выплавление модельного состава из форм проводится в горячем воздухе или СВЧ-методом, указанное время регенерации может быть сокращено в 2...3 раза.

В установке регенерации модельного состава, представленной на рис. 5.58, процессы выпаривания воды из модельного состава и осаждения твёрдых частиц разделены. Выпаривание воды из расплава модельного состава осуществляется в плавильном баке 1 (см. рис. 5.58) и интенсифицируется его механическим перемешиванием. Плавильный бак оснащён тихоходной мешалкой 7 с электродвигателем и понижающим редуктором 6, а также сливным краном пробкового типа 3. Нагрев плавильного бака осуществляется электронагревательными элементами 4. Для снижения тепловых потерь бак утеплён слоем теплоизоляционного материала 2, а для удаления паров воды из модельного состава над плавильным баком установлен зонт вытяжной вентиляции 13.

Для регенерации, после загрузки и расплавления, температуру модельного состава в плавильном баке повышают до 130...150°C, включают мешалку и перемешивают расплав в течение 1...2 ч. После выпаривания воды из расплава открывают кран 3 бака 1, откуда модельный состав самотёком перетекает в бак-отстойник 15.

В бак-отстойнике при температуре 130...150°C расплав выдерживают (отстаивают) в течение 1...2 ч. Отстоянный модельный состав из бака-отстойника через кран пробкового типа 16 выпускают в изложницу 12. При этом расплав из бака-отстойника проходит через кассету с металлической сеткой 9 (размер ячейки сетки – 2 мм), пять-семь слоев марли 10 и металлическую сетку 11 с величиной ячейки 0,063 мм или 0,63 мм.

Для снижения тепловых потерь бак-отстойник, помимо внешней теплоизоляции, имеет крышку 14. В нижней части бака-отстойника выполнен кран пробкового типа 8. Кран 8 предназначен для упрощения процесса очистки бака-отстойника при его периодическом обслуживании. Оба бака установлены на подставках 5.

В случае регенерации модельного состава, содержащего биурет, длительность выдержки расплава при 130...150°C в бак-отстойнике должна быть увеличена до 3...4 ч при высоте слоя расплава модельного состава в бак-отстойнике $h=0,4...0,6$ м.

С целью увеличения скорости оседания частиц в жидком модельном составе и повышения степени очистки модельного состава используют центробежную силу. Для этого в процессе регенерации расплаву модельного состава придают вращательное движение, например, в изложнице (баке, центрифуге) с вертикальной осью вращения. В этом случае время оседания частиц в центробежном поле можно рассчитать по известной формуле:

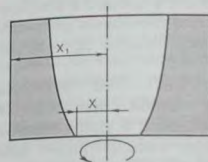


Рис. 5.59. Схема свободной поверхности расплава в центрифуге

$$\tau = \frac{4,5 \cdot \eta \cdot \ln\left(1 + \frac{x_1}{x}\right)}{\pi^2 \cdot n^2 \cdot D^2 \cdot (\rho_{II} - \rho_{II})} \quad (5.16)$$

где x – наименьшее расстояние от оси вращения до свободной поверхности расплава модельного состава, м; x_1 – расстояние от оси вращения до вертикальной стенки центрифуги (см. рис. 5.59), м; $\pi = 3,14$; n – частота вращения барабана центрифуги, об/с.

Пример 5.4. В качестве примера приведём результаты расчёта времени оседания частиц кварцевого песка и воды (диаметр песчинки и капли воды – $D=0,04$

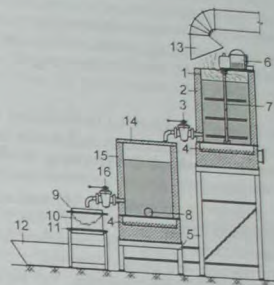


Рис. 5.58. Установка для регенерации модельного состава

мм) при: $n=600$ об/мин (10 об/с), $x=0,2$ м, $x_1=0,4$ м, $\eta=0,008$ Па·с, $\rho_{\text{мс}}=900$ кг/м³, $\rho_{\text{в}}=1000$ кг/м³, $\rho_{\text{кт}}=2650$ кг/м³.

$$\tau_{\text{кт}} = \frac{4,5 \cdot \eta \cdot \ln\left(1 + \frac{x_1}{x}\right)}{\pi^2 \cdot n^2 \cdot D^2 \cdot (\rho_{\text{кт}} - \rho_{\text{м}})} = \frac{4,5 \cdot 0,008 \cdot \ln\left(1 + \frac{0,4}{0,2}\right)}{3,14^2 \cdot 10^2 \cdot 0,00004^2 \cdot (2650 - 900)} = 14,3 \text{ с};$$

$$\tau_{\text{в}} = \frac{4,5 \cdot \eta \cdot \ln\left(1 + \frac{x_1}{x}\right)}{\pi^2 \cdot n^2 \cdot D^2 \cdot (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{м}})} = \frac{4,5 \cdot 0,008 \cdot \ln\left(1 + \frac{0,4}{0,2}\right)}{3,14^2 \cdot 10^2 \cdot 0,00004^2 \cdot (1000 - 900)} = 250,7 \text{ с}.$$

Расчёт по формуле (5.16) показывает, что для принятых условий $\tau = 14,3$ с для кварцевого песка и $\tau = 250,9$ с (~4,2 мин) для воды. То есть использование центробежной силы позволяет сократить длительность регенерации модельного состава в десятки раз, что делает данный способ регенерации весьма привлекательным. Тем не менее, следует отметить, что эффективность центробежной очистки модельного состава от воды и других механических примесей резко снижается с уменьшением разницы между их плотностями, а также с повышением вязкости модельного состава и при наличии в нём твёрдого наполнителя.

На рис. 5.60 представлена схема центробежной установки периодического действия для регенерации модельных составов (на рис. 5.60 нахождение расплава модельного состава в процессе его регенерации и после окончания регенерации, в приёмном коробе 12, — затемнено).

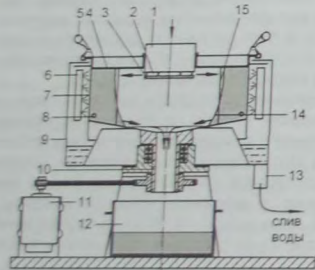


Рис. 5.60. Схема центробежной установки периодического действия для регенерации модельного состава

Согласно рис. 5.60 установка представляет собой вращающийся барабан 7 с крышкой 4, удерживаемый на станине при помощи полого вала 10. Вращение барабана осуществляется вокруг вертикальной оси путём передачи вращательного движения через ременную передачу от вала электродвигателя 11 к валу 10.

Заливку жидкого регенерируемого модельного состава (на схеме направление движения расплава отмечено стрелками) проводят через патрубок 1 при частоте вращения барабана 500...600 об/мин. Из патрубка 1 жидкий модельный состав попадает на жёстко закреплённый на патрубке диск 3. С поверхности диска 3 расплав центробежной силой отбрасывается через окна 2 к внутренней поверхности барабана 7, образуя свободную поверхность 14. Во избежание "проскальзывания" слоёв жидкого модельного состава, внутри барабана выполнены лопасти 15. Во избежание смещения центра тяжести вращающихся частей установки относительно вертикальной оси, в лопастях 15 выполнены отверстия 8. Крышка 4 на барабане 7 удерживается с помощью центробежных зажимов 5.

После центрифугирования залитой порции жидкого модельного состава в течение ~5 мин из труб 6 на внешнюю поверхность вращающегося барабана 7 подают холодную воду. Охлаждение внешней поверхности барабана водой приводит к тому, что на его внутренней поверхности начинает затвердевать жидкий модельный состав. Длительность душирования водой барабана определяют из расчёта образования на внутренней поверхности барабана твёрдой корочки затвердевшего модельного состава толщиной ~3 мм. При этом вода, использованная для охлаждения барабана, самотёком сливается из установки через слив 13, расположенный в нижней части кожуха установки 9.

По окончании образования твёрдой корочки модельного состава вращение барабана прекращают. В результате прекращения вращения расплава модельного состава стекает из барабана по внутреннему каналу полого вала установки 10 в приёмный короб 12, где продолжается процесс охлаждения и затвердевания очищенного модельного состава.

После выпуска очищенного расплава из установки прекращают охлаждение барабана, снимают с него крышку и вручную очищают внутреннюю поверхность барабана от оставшейся твёрдой корочки загрязнённого модельного состава.

Рассматривая вопрос о регенерации модельных составов, содержащих наполнитель, нерастворимый в жидком пластификаторе, прежде всего следует разделить данные модельные составы на те, у которых плотность материала наполнителя отличается от плотности жидкого пластификатора более чем на 10% (условная группа А), и на модельные составы, у которых плотность материала наполнителя отличается от плотности жидкого пластификатора менее чем на 10% (условная группа Б).

Модельные составы группы А характеризуются тем, что в процессе регенерации (методом отставивания или центрифугирования) большая часть их наполнителя, вместе с сорowymi частицами, за время регенерации либо оседает на дно бака, либо центробежной силой отбрасывается к стенкам центрифуги. В результате этого для дальнейшего использования пригодной остаётся лишь воскоподобная часть модельного состава (50...70% от массы регенерируемого модельного состава). В этом случае, в очищенный пластификатор вводят соответствующее количество наполнителя и используют его повторно.

Модельные составы группы Б характеризуются тем, что в процессе регенерации (методом отставивания или центрифугирования) большая часть их твёрдого наполнителя, вместе с сорowymi частицами, за время регенерации остаётся в расплаве пластификатора. При этом степень очистки модельных составов данной группы тем ниже, чем меньше разница плотностей материала наполнителя и жидкого пластификатора модельного состава.

Таким образом, используя тот или иной модельный состав, важно знать его характеристику — регенерируемость.

Регенерируемость любого модельного состава можно оценить, например, по результатам экспериментальных исследований осаждения твёрдого пылевидного материала, как наиболее нежелательной примеси в модельном составе. Согласно методике, разработанной автором, для оценки регенерируемости модельных составов используют испытываемый модельный состав и пылевидный материал, применяемый в данном литейном цехе в качестве огнеупорного наполнителя для огнеупорной суспензии КО.

Для проведения испытаний готовят навеску из свежего (первичного) модельного состава массой 1000 ± 5 г, а также берут 50...100 г кварца кристаллического пылевидного марки А или Б (ГОСТ 9077-82) либо микрошлифпорошка электрокорунда белого марки М40. Пылевидный материал просушивают при 150...170°C в течение

часа в слое высотой не более 10 мм. По окончании сушки пылевидный материал охлаждают до комнатной температуры и готовят из него навеску массой $10 \pm 0,1$ г.

Навеску испытываемого модельного состава расплавляют, доводят температуру расплава до $130 \dots 140^\circ\text{C}$ и вводят в него приготовленную навеску пылевидного материала. Ввод пылевидного материала проводят порционно, при непрерывном перемешивании жидкого модельного состава. После ввода пылевидного материала, расплав продолжают перемешивать в течение $5 \dots 6$ мин, понижая его температуру до $110 \dots 120^\circ\text{C}$. По окончании перемешивания расплав модельного состава немедленно заливают три в стеклянные пробирки диаметром $16 \dots 20$ мм, обеспечивая заполнение пробирок модельным составом на высоту $h = 215 \pm 5$ мм.

Залитые расплавом пробирки в вертикальном положении помещают на 30 мин в печь при температуре в печи $115 \pm 5^\circ\text{C}$. После изотермической выдержки в печи выключают её нагрев, открывают её дверцу и, вместе с печью, охлаждают модельный состав, залитый в пробирки, до его полного затвердевания. По окончании затвердевания пробирки извлекают из печи и охлаждают на воздухе до комнатной температуры. После охлаждения затвердевшие образцы модельного состава из пробирок, без разрушения образцов, удаляют (возможно, даже в результате разрушения пробирок).

С цилиндрической поверхности полученных образцов (торцевые поверхности образцов не обрабатывать) чистым ножом или скальпелем срезают поверхностный слой модельного состава толщиной до 0,5. После этого с помощью ножа и линейки через каждые 25 ± 1 мм полученные цилиндрические образцы разрезают поперёк, начиная от нижнего (донной части в пробирке) торца, маркируя с помощью ножа каждый из получаемых коротких цилиндрических образцов.

Маркированные образцы по стандартной методике исследуют на содержание в них массовой доли золы (M_3). При этом в качестве эталонной величины также определяют содержание массовой доли золы в исходном модельном составе, не содержащем порошкообразный наполнитель.

Для каждого из 3-х образцов, полученных в пробирках, по результатам определения значений величины массовой доли золы в нарезанных и маркированных образцах, строят зависимость $M_3 = f(h)$, где h – расстояние от свободной поверхности модельного состава в пробирке.

После построения зависимостей, используя полученные изображения, определяют величины площадей S_1 и $S + S_1$ (см. рис. 5.61). Критерием оценки регенерируемости того или иного модельного состава служит величина R_{RE} , определяемая по формуле:

$$R_{RE} = \frac{S_1}{S + S_1}, \quad (5.17)$$

Величину R_{RE} определяют как среднее арифметическое трёх значений (трёх образцов одного и того же модельного состава).

Теоретическое значение величины R_{RE} для различных модельных составов изменяется в пределах от 0 до 1. При этом, чем ближе к единице величина критерия R_{RE} , тем сложнее очистить (регенерировать) модельный состав от механических примесей методом отстаивания в жидком состоянии.

В литейных цехах химической очистке модельные составы подвергают редко и только в том случае, если модельный состав имеет величину кислотного числа более 30 г КОН/г (составы, содержащие стеарин, минеральные воски, природные смолы, канифоль и т.п.) и выплавляемые из КО в воде с величиной $pH \geq 5,5$.

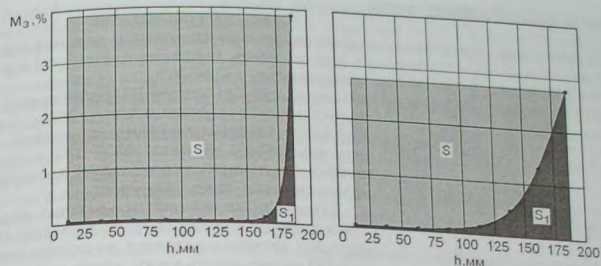


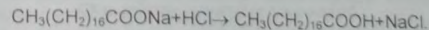
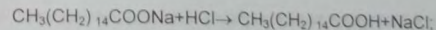
Рис. 5.61. Типовые зависимости распределения величины массовой доли золы в модельных составах от величины h

Как было отмечено выше, при выплавлении в воде таких модельных составов, происходит их омыление. При этом омыленный модельный состав приобретает более светлый оттенок и становится непригодным к повторному использованию.

Причиной омыления модельных составов, содержащих компоненты с высоким кислотным числом, также может явиться недостаточная "проветренность" КО от паров аммиака перед выплавлением из них модельного состава, а также использование жидкого стекла или кремнезоля в составе КО, использование мыла и прочих моющих средств технического или бытового назначения в качестве ПАВ огнеупорных суспензий и пр. В этом случае регенерация модельного состава сводится либо к элементарному выпариванию воды из модельного состава при температуре $140 \dots 150^\circ\text{C}$, либо к химическому восстановлению материала.

Например, в парафино-стеариновых модельных составах при контакте с водой омыляется стеариновая и пальмитиновая кислота. Регенерацию парафино-стеариновых составов, по предложению П. С. Першина, проводят путём обработки расплавленного омыленного модельного состава парами соляной кислоты. Для этого модельный состав расплавляют в ванне из нержавеющей стали и замешивают в него соляную кислоту в количестве $0,03 \dots 0,05\%$ от массы модельного состава, находящегося в ванне.

После замешивания соляной кислоты смесь нагревают до температуры кипения соляной кислоты. Испарение соляной кислоты в процессе её кипения в модельном составе сопровождается восстановлением омыленной пальмитиновой и стеариновой кислоты, по реакциям:



В некоторых случаях для регенерации модельные составы из литейного цеха направляют на предприятие-изготовитель данного модельного состава, где процесс регенерации включает механическое удаление случайных частиц и воды, а также химическое восстановление регенерируемого материала и добавку свежих компонентов регенерируемого модельного состава.

В технологии изготовления отливок методом выплавляемых моделей используют два типа форм – оболочковые (керамические, графитовые, коксовые) и монолитные (гипсовые), схемы которых представлены на рис. 6.1.

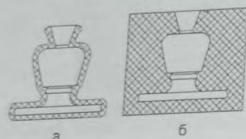


Рис. 6.1. Схема оболочковой (а) и монолитной (б) формы

Основным материалом керамических оболочковых форм (КО), как правило, являются высокоогнеупорные окислы (SiO_2 , Al_2O_3 и др.), а также связующее вещество, основой которого, как правило, является SiO_2 . В КО получают отливки практически из всех известных сплавов, используемых в промышленности.

Основным материалом графитовых оболочковых форм (ГО) является графит или кокс. В ГО получают отливки из сплавов на основе титана, хотя ГО можно использовать также для получения отливок из медных, алюминиевых и магниевых сплавов.

Основным материалом монолитных форм является гипс. Монолитные формы применяют ограниченно, в основном для получения отливок из сплавов на основе меди, алюминия или магния.

В настоящее время, подавляющее количество отливок, изготавливаемых методом литья по выплавляемым моделям, получают в многослойные КО.

6.1. Многослойные керамические оболочковые формы

В технологии метода литья по выплавляемым моделям, КО – второй после пресс-формы формообразующий элемент. Для изготовления КО, как правило, используют зернистый и пылевидный (ПМ) огнеупорный материал, жидкий связующий материал и материал, используемый в качестве растворителя-разбавителя связующего.

Схема типового технологического процесса изготовления многослойных КО представлена на рис. 6.2.

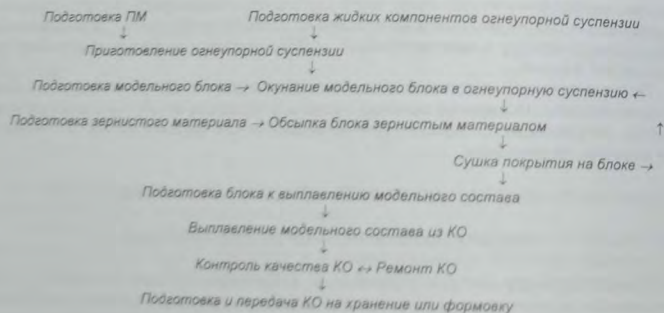


Рис. 6.2. Схема типового технологического процесса изготовления многослойных КО

Первой основной технологической операцией в процессе изготовления КО является операция нанесения огнеупорной суспензии на поверхность модельного блока. Для этого модельный блок под углом 30...60 град относительно вертикальной оси стойка медленно погружают на 3...5 с в огнеупорную суспензию и медленно, до извлечения из суспензии, поворачивают вокруг оси стойка и медленно.

После извлечения из суспензии модельный блок выдерживают над баком с суспензией в течение 5...10 с для стекания с его поверхности излишков суспензии, обсыпают зернистым огнеупорным материалом и передают на сушку.

В результате окунания на поверхности модельного блока образуется слой огнеупорной суспензии толщиной около 0,2 мм, удерживающийся за счёт силы адгезии. За счёт этой же силы на поверхности внешнего слоя огнеупорной суспензии удерживаются и зёрна огнеупорного материала, которым обсыпают блок.

Находясь на внешней поверхности слоя суспензии, зернистый огнеупорный материал понижает текучесть этого слоя, предупреждая его стекание ("сползание") с поверхности модельного блока. Во втором и последующих слоях КО зернистый материал придаёт жёсткость и прочность как каждому слою КО в отдельности, так и КО в целом. Помимо этого, наличие зернистого материала в теле КО стабилизирует и повышает её механические и технологические свойства, а также позволяет достичь требуемой толщины КО при меньшем количестве слоёв огнеупорного покрытия на блоке.

Количество слоёв КО назначают в зависимости от её прочности, огнеупорности, металлоёмкости, величины металлостатического напора в КО, температуры КО и температуры заливаемого в неё расплава, способа формовки и подготовки КО к заливке и пр. Как правило, количество слоёв КО составляет от 3-х до 12 и более (толщина одного слоя огнеупорного покрытия в среднем составляет 0,8 мм). Прочностные свойства каждый слой огнеупорного покрытия приобретает только после соответствующей сушки, в результате удаления из него жидкой составляющей суспензии и твердения связующего вещества. Таким образом, в результате послойного нанесения и сушки огнеупорного покрытия на модельном блоке формируется тело КО. Окончательным этапом формирования КО, как правило, является процесс выплавления модельного состава из её внутренней полости.

Для заливки металлом КО могут использовать как самостоятельную литейную форму, так и совместно с опорным наполнителем. В последнем случае понятие литейной формы распространяется на всю конструкцию: опока – опорный наполнитель – КО или опорный наполнитель – КО, (в случае, если опорный наполнитель – монолит и опока при этом не используется).

Свойства и качество КО во многом определяют и качество получаемых в них отливок, и величину потерь самих КО в процессе их изготовления, и трудоёмкость вывешивания отливок и т.п. В связи с этим к КО предъявляют следующие требования:

- достаточная прочность при комнатной и высокой температуре (способность противостоять разрушению под действием механической нагрузки, термических напряжений и металлостатического напора);
- низкая прочность после охлаждения отливки (необходима для обеспечения лёгкого удаления КО с поверхности залитого блока);
- термическая стойкость (способность КО сохранять свою целостность при резком изменении температуры);
- стабильность размеров и формы (способность КО сохранять свои размеры и форму при силовых и температурных воздействиях на неё);

- высокая чистота поверхности лицевого слоя КО (предопределяет чистоту поверхности отливки);
- отсутствие поверхностных дефектов лицевого слоя КО (предопределяет образование поверхностных дефектов в отливке);
- химическая стойкость первого (лицевого) слоя КО по отношению к заливаемому сплаву (предопределяет качество поверхности отливки, оценивается косвенно, по наличию на отливках поверхностными химическими элементами из КО и т.п.);
- высокая газопроницаемость (способность КО пропускать воздух и другие газы, выделяющиеся в процессе заливки её металлом);
- низкая газотворная способность (предопределяет образование газовых пузырей в отливке, показатель количества газов, выделяющихся из КО при её нагреве от температуры прокаливания до температуры заливаемого сплава) и др.

Комплекс требований, предъявляемых к КО, предопределяется: требованиями к качеству производимых отливок, свойствами используемого сплава отливки семка рийности литья и пр. Поэтому вышеизложенный перечень требований к КО может быть как расширен, так и ограничен.

Например, при литье алюминиевых сплавов нет необходимости в требовании к КО по химической активности её материала в отношении к водным растворам и расплавам щелочей. Это связано с тем, что алюминиевые сплавы сами по себе активно взаимодействуют со щелочами, в связи с чем удаление остатков КО с поверхности алюминиевых отливок в щелочах проводить недопустимо.

В табл. 6.1 приведены основные требования к КО, используемым для получения отливок общемашиностроительного назначения, из сплавов на основе железа, никеля, кобальта и меди при заливке КО на воздухе.

Таблица 6.1

Требования к КО, используемым для получения отливок общемашиностроительного назначения из сплавов на основе железа, никеля, кобальта и меди при заливке КО на воздухе

Основные свойства материала КО	Значения, требования
Огнеупорность, °С, не менее	1600
Стойкость к действию жидкого металла отливки	Химическая инертность
Открытая пористость, %	20–35
Предел прочности при изгибе, МПа, при: 20°С, 950°С	5–12, 3–7
Температура начала деформации (под нагрузкой 0,2 МПа), °С	1250–1450
КТЛР, 1/°С (t=20–1000°С)	0,000008–0,000010
Газопроницаемость, ед, не менее	0,2
Газотворная способность, см ³ /100 г, не более	10
Шероховатость поверхности (R _a), мкм	2–5
Способ удаления КО с внешней поверхности отливки	Механическое воздействие
Способ удаления КО из внутренних полостей отливки	Механическое воздействие, химическое взаимодействие со щелочными растворами или расплавами

В табл. 6.2 приведены основные требования к КО, используемым для получения турбинных лопаток из жаропрочных никелевых сплавов [99].

Таблица 6.2
Требования к КО, используемым для получения турбинных лопаток из жаропрочных никелевых сплавов, работающих в ГТД и ГТУ

Основные свойства материала КО	Литьё с равноосной макроструктурой	Литьё с направленно-столбчатой макроструктурой	Монокристаллическое литьё
Огнеупорность, °С, не менее	1600	1650	1700
Стойкость к действию жидкого металла отливки	Химическая инертность		
Усадка при обжиге, %, не более	1	1	0,8
Открытая пористость, %	34–37	29–30	28–29
Предел прочности при изгибе, МПа при: 20°С, 1400°С, 1500°С	3–8, 1,5–4,0, -	15–17, -	25–31, -
Температура начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа, °С	1350–1450	1550–1590	1590–1630
КТЛР, 10 ³ 1/°С (t=20–1200°С)	6,5–8,5	8,5–8,7	9,0–10,0
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), при 1200°С	1,7–2,1	2,2–2,5	2,4–3,0
Точность геометрических размеров получаемых стержней, мм	±(0,1–0,15)		
Шероховатость поверхности (R _a), мкм	2–5		
Способ удаления КО с поверхности запитого блока	Механическое воздействие		

Как было отмечено выше, в зависимости от условий литья, требований к качеству отливок, материала отливки, способа кристаллизации и т.п., требования к свойствам КО могут быть самые разнообразные. В соответствии с этими требованиями определяют технологию изготовления КО и проводят подбор соответствующих материалов для изготовления КО.

6.2. Материалы для изготовления многослойных керамических оболочковых форм

Для изготовления многослойных КО, как правило, используют жидкое связующие вещество и вещество-растворитель – разбавитель (РР), твердые пылевидные и зернистые огнеупорные материалы, а также различные вспомогательные вещества.

Огнеупорные материалы. Для изготовления КО используют огнеупорные материалы зернистых и пылевидных фракций. В зависимости от условий получения отливок и требований к их качеству, к используемым огнеупорным материалам предъявляют определённые требования, в число которых входят:

- огнеупорность материала должна быть не менее чем на 100...200°С выше температуры заливки расплава в КО;
- огнеупорный материал для первого слоя КО должен быть химически стойким по отношению к заливаемому в форму расплаву;
- огнеупорный материал должен быть химически стойким в окислительной атмосфере;
- огнеупорный материал должен иметь низкий и стабильный КТЛР в интервале рабочих температур КО;
- огнеупорный материал должен быть недефицитным, недорогим, экологически безопасным и т.п.

В настоящее время в изготовлении КО наибольшее распространение получили тугоплавкие оксиды металлов и их соединения. Некоторые свойства наиболее широко используемых и известных огнеупорных материалов приведены в табл. 6.3, а в табл. 6.4 приведены рекомендуемые области применения пылевидных и зернистых фракций огнеупорных материалов при производстве КО.

Свойства огнеупорных материалов

Таблица 6.3

Материал	Формула (система)	химические	Свойства		
			$t_p, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	КТЛР в интервале температуры 0–1000 $^\circ\text{C}$, 1 $^\circ\text{C} 10^6$
Кварц кристаллический	SiO ₂	К	1713	2650	13,7
Кварц аморфный (КНС)	SiO ₂	К	1713	2020–2150	0,4–0,5
Электрокорунд белый	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	А	2050 (2327)	3990	8,8
Оксид магнез (периклаз)	MgO	О	2825	3580	13,5
Диоксид-силиманит	Al ₂ O ₃ SiO ₂	СК	1545	3250–3600	4,2–5,5*
Шамот высокоглинозёмистый	3Al ₂ O ₃ SiO ₂	СК	1600	3000	5,3
Муллит	3Al ₂ O ₃ 2SiO ₂	СК	1850	3040	4,3
Оксид циркония	ZrO ₂	А	2675	5560	4,1*
Силикат циркония	ZrO ₂ SiO ₂	СК	2420	4570	4,2
Муллитцирконий	Al ₂ O ₃ SiO ₂ ZrO ₂	СК	1870	4400	6,1

Примечание: К – кислотный, А – амфотерный, О – основной, СК – слабокислый. Удельная площадь поверхности материалов, используемых в пылевидном состоянии (S_у), находится, как правило, в пределах от 2700 до 5500 см²/г. * – данные автора. t_p – температура плавления, ρ – плотность при 20 $^\circ\text{C}$.

Рекомендуемая область применения материалов для изготовления КО

Таблица 6.4

Огнеупорный материал	Сплав отливки								
	сталь			чугун	Сплав отливки				
	УНС	М	В		НК (алюмин в вакууме)	НК (алюмин по воздуху)	медные сплавы	алюминевые сплавы	магниевые сплавы
Кварц кристаллический	П-3	3	П-3	П-3		П-3	П-3	П-3	П-3
Кварц аморфный (КНС)				П-3					
Диоксид-силиманит	П-3		П	П	П	П	П-3	П-3	П-3
Электрокорунд белый		П-3	П-3		П-3	3			
Оксид магнез (периклаз)		П-3							
Шамот высокоглинозёмистый	П-3		3	П-3	3	П-3	П-3	П-3	П-3
Муллит			П-3			П-3			
Концентрат цирконий		П	П		П				

Примечание: П – пылевидный материал (для приготовления огнеупорной суспензии), 3 – зернистый материал (для обсыпки блоков). УНС – стали конструкционные нелегированные; высокоуглеродистые, низко- и среднелегированные; магнитные сплавы, М – стали марганцевые с содержанием марганца более 1%, В – стали высоколегированные (кроме марганцевые); НК – никелевые и кобальтовые жаропрочные сплавы.

Из числа приведенных в табл. 6.3 и табл. 6.4 огнеупорных материалов наиболее распространение получил карьерный кварцевый песок и получаемый из него кварц пылевидный (кварц кристаллический). Кроме того, для изготовления КО и дистен-силиманит.

Кварц кристаллический используют преимущественно при получении отливок массой до 30 кг общемашиностроительного назначения из стали, чугуна, медных, Электрокорунд белый и дистен-силиманит наибольшие распространение получили при изготовлении КО, предназначенных для производства отливок из жаропрочных никелевых, кобальтовых, ниобиевых сплавов, заливаемых в условиях вакуума применяют только в случаях получения отливок из высокоуглеродистых сталей Диржон, муллит или муллитцирконий используют из высокоуглеродистых сталей. Но при получении отливок из химически активных металлов редко и преимущественно используют малахит, кристобаллит, стеатит, кордиерит и т.п.

Зернистые огнеупорные материалы. Зернистые огнеупорные материалы используют для обсыпки слоев огнеупорной суспензии на модельном блоке. Перед их применением сушат до содержания влаги не более 0,1% (по массе) и просеивают через сито № 063.

Кварц кристаллический (SiO₂) – является природным минералом (кварцевый песок). Кварцевый песок добывают в карьерах, сопутствующий материал – глины, В гунно-континентальные, озёрные, кварцевые пески (морские, дельтовые, лавовые) различных месторождений содержат различное количество примесей. Наиболее часто встречающимися нежелательными примесями кварцевых песков являются полевые шпаты, слюды, гидроокисл железа, пирит. Гидроокисл железа растенки от жёлтого до бурого. Содержание полевых шпатов и слюды в кварцевых отливках некоторых месторождений может достигать, по массе, 15%. Присутствие в кварцевом песке указанных минералов, в том числе и пирита, в больших количествах, нежелательно, поскольку они имеют низкую температуру плавления и в стружечной структуре КО при нагреве образуют плавни, снижающие термостойкость КО. Наиболее этой причине для изготовления КО используют именно карьерные кварцевые пески. Тем не менее, на некоторых предприятиях при изготовлении КО для получения мелких отливок общемашиностроительного назначения успешно используют речной песок.

Для изготовления КО используют кварцевый песок, как с сосредоточенной, так и с рассредоточенной зерновой структурой, низким содержанием глинистой составляющей и (желательно) округлой формой зёрен.

Для обсыпки блоков используют кварцевые пески с содержанием глинистой составляющей не более 2% (по массе) и низкой долей мелких фракций. Для обсыпки первого слоя применяют пески со средним размером частиц 0,16 – 0,20 мм, для последующих слоев – более крупные пески со средним размером частиц 0,315 – 0,40 мм.

Наиболее существенным недостатком кварцевого песка, как огнеупорного материала, используемого для изготовления КО, является его значительное и скач-

кообразное изменение объёма при нагреве и охлаждении, вызванное наличием полиморфного превращения его структуры.

Для сохранения бездефектной структуры КО наиболее существенным является изменение объёма кварцевого песка (увеличение на 2,4% при нагреве и соответственно, уменьшение при охлаждении), происходящее при температуре 573°C. Резкое изменение объёма зерен кварцевого песка в структуре КО при 573°C, приводит к образованию в теле КО достаточного большого количества микротрещин. В результате этого прокалённые КО изготовленные на основе кварцевого песка, обладают невысокой прочностью, термостойкостью и требуют определённого режима прокаливания.

Кроме того, результатом полиморфного превращения кварцевого песка является относительно невысокая и недостаточно стабильная точность получаемых отливок. В связи с этим кварцевый песок используют, в основном, для получения отличок общемашиностроительного назначения.

Кварц аморфный (SiO_2) – кварцевое стекло (плавленный кварц) получают из кварцевого песка путём его нагрева до температуры более 1713°C с последующим охлаждением. Кварцевое стекло производят двух видов: прозрачное и непрозрачное. Для изготовления КО используют непрозрачное кварцевое стекло (НКС). В отличие от прозрачного стекла, НКС содержит мельчайшие пузырьки воздуха, замешавшегося в расплав стекла в процессе его производства, что и делает его непрозрачным.

Непрозрачное кварцевое стекло (НКС) получают путём рапплавления кварцевого песка, например, в индукционной тигельной печи с графитовым тиглем или на графитовом стержне, разогревом электрическим током до 2000°C. В частности, для получения НКС непосредственно в литейном цехе используют установку, схема которой представлена на рис. 6.3. В качестве шихты для производства НКС используют сухой кварцевый песок, содержащий не менее 99,8% SiO_2 .

Процесс получения НКС состоит в том, что (см. рис. 6.3, а) П-образный стальной лоток устанавливают на стол подвёмника и поднимают стол в крайнее верхнее положение. При этом графитовый электрод установки оказывается внутри лотка на расстоянии около 200 мм от дна и стенок лотка. После этого в полость лотка засыпают сухой кварцевый песок и, включив электрический ток, нагревают графитовый стержень до 2000 °С. В процессе нагрева стержня происходит и нагрев кварцевого песка, окружающего стержень. При достижении температуры 1710°C песчинки кварцевого песка из твёрдого состояния переходят в вязкопластичное состояние и, сплавляясь между собой, образуют расплав стекла.

В результате этого, после определённой выдержки в исходном положении установки, вокруг стержня образуется слой высоковязкого НКС толщиной порядка

15 см. С этого момента начинают медленное опускание стола установки вместе с лотком. В процессе опускания лотка в зону теплового влияния графитового стержня попадают новые вышележащие слои кварцевого песка, которые также расплавляются, а нижележащие слои расплавленного кварцевого песка в это время, медленно охлаждаясь, формируют тело стеклоглазбы НКС.

То есть за время относительно медленного переключения графитового стержня по высоте лотка происходит расплавление вышележащих слоёв кварцевого песка и формирование стеклоглазбы НКС в нижележащих слоях лотка. К окончанию процесса (см. рис. 6.3,б) графитовый стержень выходит из полости лотка, а в лотке остаётся стеклоглазба НКС, окружённая небольшим слоем кварцевого песка.

С момента выхода графитового стержня из песка в лотке подачу электрического тока на графитовый стержень прекращают, лоток снимают со стола установки и оставляют его на воздухе для охлаждения стеклоглазбы до комнатной температуры. По окончании охлаждения стеклоглазбу НКС извлекают из лотка, очищают её поверхность от остатков кварцевого песка (с помощью металлических щёток) и измельчают с последующим рассевом помола по определённым фракциям.

Значительным преимуществом НКС перед всеми известными огнеупорами, используемыми в литье по выплавляемым моделям, является его очень низкий КТЛР. КО, изготовленные на основе НКС, обладают исключительно высокой термостойкостью и стабильностью геометрических размеров. Это свойство аморфного кварца позволяет не только загружать КО в прокалочную печь при любой начальной температуре в печи, что резко сокращает длительность прокаливания, снижает расход энергоносителей и т.д., но и заливать прокалённые КО без опорного наполнителя, обеспечивая при этом высокую точность получаемых отливок. НКС обладает низкой теплоёмкостью и теплопроводностью, имеет низкую плотность. КО из НКС характеризуются пониженной газопроницаемостью, поскольку при прокаливании НКС не претерпевает полиморфных превращений и, обладая низким КТЛР, не способствует образованию в теле КО сквозных микротрещин [163, 182].

Высокоглинозёмистый шамот. Высокоглинозёмистый шамот получают в результате обжига каолинов и огнеупорных глин на специализированных предприятиях. В состав шамота входит 30...70% муллита ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$). Огнеупорность шамота составляет 1690...1770°C. При нагреве и охлаждении шамот не претерпевает структурных превращений, инертен по отношению к большинству промышленных металлических расплавов.

Для изготовления КО используют шамотный песок и крошку с размерами частиц от 0,2 до 1,8 мм. Шамотный песок и крошку получают в результате помола боя шамотного кирпича либо кирпича, бывшего в употреблении (отработанный кирпич). Побочным продуктом помола шамотного кирпича на песок и крошку являются пылевидные фракции, которые можно использовать в качестве наполнителя огнеупорной суспензии.

В качестве обсыпочно материала шамотный песок и крошку используют для изготовления, как отливок общемашиностроительного назначения, так и отливок специального назначения из сплавов на основе железа, никеля, меди и др.

Электрокорунд. Электрокорунд (ГОСТ 3647-80) является наиболее чистым по примесям огнеупорным материалом, не требующим специальной подготовки (помимо сушки при 250...300°C перед использованием). Электрокорунд ($\alpha-Al_2O_3$) получают в результате проведения восстановительной плавки бокситов на специализированных предприятиях. В зависимости от содержания вредных примесей, понижающих температуру плавления и химическую стойкость, электрокорунд подразделяют на нормальный (чёрный) и белый. Химический состав электрокорунда приведен в табл. 6.5.

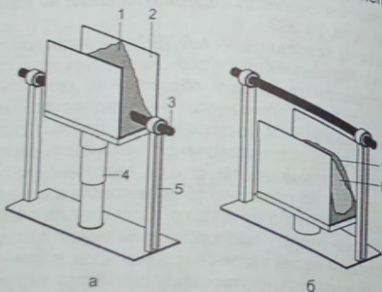


Рис. 6.3. Схема установки для получения НКС: 1 – кварцевый песок; 2 – стальной П-образный лоток; 3 – графитовый стержень ($\varnothing 60$ мм); 4 – подвёмник стола; 5 – опора электрода; 6 – стеклоглазба НКС

Химический состав электрокорунда (в %, по массе)

Таблица 6.5

Марка	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O
Нормальный Эн (чёрный)	93,5-96,1	0,7-1,7	0,65-1,65	1,7-2,7	0,55-0,75	0,1-0,3	-
Белый 3Б	99,5	≤0,07	≤0,2	-	≤0,03	-	0,15-0,23

В соответствии с ГОСТ 3647-80 шлифовальные материалы, к числу которых относятся и белый электрокорунд, делятся на группы в зависимости от размера зерен.

Группа материала:	Размер зерна, мкм
Шлифзерно.....	от 2000 до 160
Шлифпорошки.....	от 125 до 40
Микрошлифпорошки.....	от 63 до 14
Тонкие микрошлифпорошки.....	от 10 до 3

Зернистость шлифзерна и шлифпорошков обозначают как 0,1 размера стороны ячейки сита (в свету) в микрометрах, на котором задерживаются зерна основной фракции.

Зернистость микрошлифпорошков обозначают по верхнему пределу размеров зерен основной фракции (см. табл. 6.10 и табл. 6.11).

В цехах литья по выплавляемым моделям наибольшее распространение получили белый электрокорунд. Белый электрокорунд используют как для приготовления огнеупорных суспензий (порошки М-5, М-10, М-40, М-50), так и для изготовления отдельных блоков (электрокорунд зернистостью № 20 для первого слоя огнеупорного покрытия и зернистостью № 40, № 50 и № 63 для последующих слоев КО).

В прокатном состоянии КО, изготовленные на основе белого электрокорунда, обладают большей прочностью, чем КО, изготовленные на основе кварцевого песка, и обеспечивают более высокую размерную точность отливок. Тем не менее высокая стоимость белого электрокорунда сдерживает его широкое использование для получения общемашиностроительного назначения. Белый электрокорунд используют преимущественно для изготовления КО, в которых получают отливки из тугоплавких цветных сплавов, в вакууме. В целях экономии дорогостоящего белого электрокорунда в некоторых случаях для обсыпки третьего и последующих слоев КО используют шамот или чёрный электрокорунд, а в огнеупорной суспензии порошок электрокорунда заменяют порошком дистен-силлиманита.

Двуокись алюминия обладает амфотерными свойствами. Амфотерные свойства Al₂O₃ проявляются в её способности образовывать соединения, как с основными, так и кислотными оксидами, образуя легкоплавкие эвтектики [126]:

Оксид, контактирующий с Al ₂ O ₃	Температура плавления эвтектики, °С
CaO	1400
MgO	1930
SiO ₂	1545
TiO ₂	1720
ZrO ₂	1700

Образующиеся в результате химического взаимодействия легкоплавкие соединения могут явиться серьезным препятствием в достижении не только высокой точности отливки, но и отливки как таковой. В частности, при использовании КО, изготовленных на основе белого электрокорунда и связующего, содержащего SiO₂ без опорного наполнителя, следует учитывать присутствие в электрокорунде алюмината натрия. При относительно большом содержании алюминат натрия при вы-

соких температурах вступает в реакцию с SiO₂ – связующим КО, образуя легкоплавкие соединения типа жадеита (Na₂O·Al₂O₃·4SiO₂) и альбита (Na₂O·3Al₂O₃·6SiO₂) с температурой плавления 1060°C и 1100°C соответственно. Образование легкоплавких соединений при повышении температуры стенок КО от залитого расплава до ~1100°C приводит к потере прочности, деформации или разрушению (прорыву) КО под действием металлостатического напора в ней.

На рис. 6.4 представлены зависимости [181] прочности, стрелы прогиба и коэффициента линейного расширения электрокорундовых КО, содержащих в электрокорунде 0,34% Na₂O+K₂O, от температуры. Зависимости, представленные на рис. 6.4, свидетельствуют о том, что при температуре более ~1100°C резко возрастает прочность, увеличивается стрела прогиба и понижается коэффициент линей-

ного расширения материала КО. Обычно уход металла из электрокорундовых КО, содержащих повышенное количество окислов щелочных металлов, наблюдается в местах массивных термических узлов отливок (обышек, фланцев, платиков, прибылей и т.п.). По этой же причине, в местах отливки с относительно толстыми стенками (δ ≥ 10 мм) может произойти локальное уменьшение толщины стенки отливки ("раздутие") в результате потери КО жесткости и огнеупорности.

Для предупреждения возникновения вышеперечисленных явлений при использовании белого электрокорунда с повышенным содержанием алюмината натрия необходимо предусмотреть либо большее количество слоев огнеупорного покрытия КО, либо заливку проводить в КО, заформованную в опорный наполнитель.

Следует отметить, что ни для изготовления КО, ни для изготовления керамических стержней не следует использовать глинозём (γ-Al₂O₃). Это связано с тем, что при температуре 1200°C глинозём претерпевает превращение γ-Al₂O₃ → α-Al₂O₃, сопровождающееся большой объёмной усадкой (14,3%). Кроме того, присутствие γ-Al₂O₃ в лицевом слое КО или керамическом стержне способствует образованию химического пригара и питтинговой коррозии (питтинга) на поверхности отливок из тугоплавких сплавов.

Дистен-силлиманит. Дистен-силлиманитовый песок получают в результате его выделения из смеси минералов природного алюмосиликата. В состав дистен-силлиманита входят два минерала – дистен (кианит) Al₂O₃(SiO₄) и силлиманит Al₂(SiO₅). Состав дистен-силлиманита Волынского государственного горно-металлургического комбината (Украина) приведен в табл. 6.6.

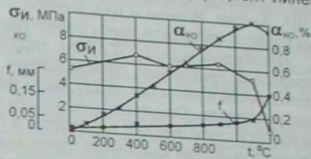


Рис. 6.4. Зависимости прочности (σ_и), стрелы прогиба (f) и коэффициента линейного расширения (α_{ли}) электрокорундовой КО от температуры

Состав дистен-силлиманита (ТУ У 14-10-017-98)

Таблица 6.6

Марка	Содержание веществ, % (остальное – SiO ₂)						Влажность, %, не более
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O + K ₂ O	
КДСЗ	>57,0	<0,8	<0,2	<0,4	<2,5	<0,1	0,5
КДСЗ-1	54	<0,8	<0,2	<0,4	<2,5	<0,1	
КДСЗ-2	48	<0,8	<0,2	<0,4	<2,5	<0,1	

Как правило, дистен-силлиманитовый песок как материал для обсыпки КО используется редко и, в основном, готовят из него пылевидный материал.

При использовании дистен-силлиманита в качестве огнеупорного материала следует учитывать то обстоятельство, что при температуре более 1350°C происходит его муллитизация.

Оксид магния (MgO). Оксид магния (периклаз), как наиболее химически стойкий материал, используют, в основном, для изготовления КО, в которых получают толстостенные отливки из высокомарганцовистых сталей. При этом в качестве связующего используют азотнокислый магниевый или кальций.

Получают оксид магния на специализированных предприятиях в результате высокотемпературного обжига горной породы — магнезита. В некоторых странах (США, Англия, Япония и др.), в связи с ограниченностью или отсутствием природных запасов магнезита, оксид магния получают из океанической воды.

Углекислый кальций ($CaCO_3$), хлористый натрий ($NaCl$) и т.п. Данная группа материалов природного происхождения не относится к числу огнеупоров, однако используется в качестве обсыпочного материала при получении отливок из алюминиевых сплавов. Основная цель использования мела, мраморной крошки ($CaCO_3$), поваренной соли ($NaCl$) и т.п. состоит в получении КО с низкой прочностью, что облегчает процесс её удаления с поверхности залитых блоков отливок.

Пылевидные огнеупорные материалы. Пылевидные огнеупорные материалы (ПМ) используют в качестве наполнителей огнеупорных суспензий, а также для изготовления керамических стержней. Изготавливают ПМ из огнеупоров, основные свойства которых приведены в табл. 6.1. Наибольшее распространение, из числа производимых промышленностью ПМ, получили оксиды и силикаты как наименее дефицитные и дешёвые материалы.

ПМ получают в результате помола материалов крупных фракций. Измельчение материалов до пылевидного состояния проводят на специализированных предприятиях с использованием мелющих тел или без них. Помол с использованием мелющих тел проводят в шаровых или вибрационных мельницах. Измельчение (помол) материалов без использования мелющих тел проводят струйным способом.

От ПМ во многом зависят технологические свойства огнеупорных суспензий, физико-химические свойства КО и керамических стержней и, в конечном счёте, качество отливок. Основными показателями каждого конкретного ПМ являются его дисперсность, гранулометрический состав, форма зёрен и содержание примесей.

Рассматривая качество ПМ, используемых для приготовления огнеупорных суспензий, следует, прежде всего, обратить внимание на форму частиц и их гранулометрический состав. Гранулометрический состав ПМ, по возможности, должен быть неоднородным (распредоточенным). Изменяя гранулометрический состав ПМ, например, путём смешивания различных фракций ПМ можно в значительной степени изменять газопроницаемость, прочность и трещиностойчивость КО, расход связующего и седиментационную устойчивость огнеупорной суспензии, влиять на размерную точность и качество поверхности отливок.

Относительно формы частиц ПМ следует отметить, что получаемые в результате струйного помола ПМ, использовать для изготовления КО не рекомендуется. Дело в том, что в результате струйного помола форма зёрен ПМ приобретает осязочную (остроугольную) форму. Использование ПМ с остроугольной формой частиц значительно ухудшает качество поверхности отливок (повышает шероховатость), понижает прочность и трещиностойчивость КО. Кроме этого применение ПМ с остроугольной формой частиц не позволяет получать огнеупорные суспензии со стабильными свойствами.

В отличие от струйного помола, помол в шаровых или вибрационных мельницах придаёт частицам ПМ округлую форму. Такие ПМ имеют распродоточенный зерновой состав, но при этом имеют повышенное содержание железа. Насыщение ПМ железом — результат истирания мелющих тел, используемых в мельницах.

Наиболее целесообразным методом изготовления ПМ является совмещение струйного способа помола зернистого материала с последующей кратковременной обработкой ПМ в вибромельнице. Использование вышеописанной схемы помола позволяет получать ПМ с относительно невысоким содержанием железа и формой частиц огнеупорного материала близкой к округлой.

Примесь железа в ПМ нежелательна, поскольку:

а — наличие железа в огнеупорной суспензии со связующим, обладающим кислотными свойствами, приводит к повышению водородного показателя (рН) связующего раствора и снижению его живучести;

б — в связующих веществах, обладающих кислотными свойствами и содержащих соляную кислоту в качестве катализатора реакции гидролиза этилсиликата, происходит взаимодействие соляной кислоты и железа с выделением водорода, что приводит к вспениванию суспензии и повышению её вязкости;

в — присутствие оксидов железа в первом (лицевом) слое КО, образовавшихся в процессе прокаливания КО, приводит к появлению легкоплавких соединений типа $mFeO \cdot nSiO_2$, являющихся причиной возникновения ряда поверхностных дефектов отливок из высоколегированных тугоплавких сплавов.

В связи с этим, перед использованием в составе огнеупорной суспензии, из ПМ проводят удаление намолотого железа или, проводя специальные мероприятия, устраняют вредное влияние железа на качество отливки.

Для устранения вредного влияния железа, ПМ прокаливают непосредственно в литейном цехе в течение 2...4 ч при температуре 500...550°C или в течение 1...2 ч при температуре 700...800°C, в слое толщиной 50...70 мм, в окислительной атмосфере. В процессе прокаливания железо окисляется до Fe_2O_3 и не оказывает заметного отрицательного влияния на качество поверхности отливок и свойства суспензии. Прокаливание ПМ проводят в керамических коробах или противнях из жаропрочной стали во избежание засорения ПМ частицами окислы.

После прокаливания ПМ охлаждают до комнатной температуры и, непосредственно перед использованием, просеивают через сито № 0063 или 005 для удаления примесей комков ПМ. Просеивание ПМ через сита преследует ещё одну цель. При всех прочих равных условиях, для получения отливок с чистой поверхностью, соответствующей 3-му...5-му классу, ПМ, используемый для приготовления огнеупорной суспензии на первый слой КО, просеивают через сито № 0063, для получения отливок с чистой поверхностью, соответствующей 6-му или 7-му классу, ПМ следует просеять через сито № 005. Для приготовления огнеупорной суспензии на второй и последующие слои КО, ПМ просеивают через сито № 01.

КО, для изготовления которых используют прокалённый ПМ, характеризуются пониженной прочностью. Поэтому прокалённый ПМ преимущественно используют для приготовления огнеупорной суспензии на первый слой огнеупорного покрытия (лицевой слой КО). Для изготовления второго и последующих слоёв огнеупорного покрытия рекомендуется проводить сушку ПМ при температуре 150...250°C (для удаления воды), а намолотое железо удалять химическим путём непосредственно в процессе приготовления суспензии путём ввода в неё соответствующего количества серной или ортофосфорной кислоты.

Операции прокаливания, сушки и химического связывания железа в ПМ обязательны для приготовления огнеупорной суспензии на основе этилсиликатов, поскольку вода в этом типе связующих является одним из основополагающих компо-

нентов, а железо, как и в других типах связующих, негативно сказывается на качестве отливок из тугоплавких сплавов.

Доля воды, вносимая ПМ в суспензию со щелочными свойствами, практически не сказывается ни на свойствах суспензии, ни на свойствах КО, ни на качестве отливок. В связи с этим сушку и прокалку ПМ для его последующего использования в составе огнеупорных суспензий со щелочными свойствами не проводят. Тем не менее, для изготовления КО из суспензий со щелочными свойствами, для особо ответственных отливок, используют ПМ с пониженным содержанием (следами) железа.

Для ПМ одним из важнейших показателей является его дисперсность. Дисперсность ПМ (тонина помола) определяется величиной его удельной поверхности, которая, при известных условиях, связана со средним размером зерна. Для частиц сферической или кубической формы средний размер зёрен может быть рассчитан по формуле:

$$D = \frac{6}{S_y \cdot \rho_{\text{ПМ}}} \quad (6.1)$$

где D – диаметр шара или длина ребра куба, см; S_y – удельная поверхность ПМ, $\text{см}^2/\text{г}$; ρ – плотность (истинная) ПМ, $\text{г}/\text{см}^3$.

Дисперсность ПМ определяют на специальных приборах, к числу которых, например, относится прибор ЗИП-11т – быстросействующий электронный измеритель дисперсности порошков материалов, не проводящих электрический ток. Процесс измерения на приборе ЗИП-11т сводится к помещению пробы в приемное устройство и снятию показаний дисперсного состава анализируемого порошка с цифрового табло прибора (в процентах).

Технические параметры измерителя ЗИП-11т приведены в табл. 6.7.

Технические параметры измерителя ЗИП-11т

Таблица 6.7

Параметры	Значения
Время измерения одной пробы, мин (не более)	3
Диапазон измеряемых размеров частиц, мкм	63–0,5
Границы разделения фракций, мкм	63–40; 40–20; 20–10; 10–5; 5–2; 1–0,5
Влажность материала пробы, % (не более)	3
Масса пробы, мг	100
Напряжение питания, В	220
Габаритные размеры, мм: измерительного устройства	350×350×1450
устройства обработки информации	300×426×182
Масса, кг: измерительного устройства	71
устройства обработки информации	7,5

Практика литья по выплавляемым моделям показывает целесообразность использования ПМ для изготовления КО со строго определённой дисперсностью (удельной площадью поверхности частиц) и округлой формой частиц. Использование ПМ для приготовления огнеупорных суспензий с малой удельной поверхностью (большим размером частиц) снижает чистоту поверхности отливок, седиментационную устойчивость суспензии, прочность КО. Использование ПМ с большой удельной площадью поверхности повышает седиментационную устойчивость суспензии при одновременном увеличении её вязкости и снижении газопроницаемости прокалённых КО. При использовании ультрадисперсных ПМ повышение вязкости

суспензии может быть настолько велико, что она приобретёт желеподобную консистенцию в результате чего станет непригодной для использования.

Форма частиц ПМ должна быть округлой или близкой к округлой. В случае если частицы ПМ имеют остроугольную (осколочную) форму, то использование в суспензии такого ПМ ухудшает её технологические свойства, понижает прочность КО и увеличивает шероховатость поверхности отливок. Одним из признаков использования ПМ с остроугольной формой частиц является резкое повышение вязкости суспензии при относительно небольшом количестве введённого в неё ПМ.

Оксиды щелочных металлов, присутствующие в ПМ, уменьшают живучесть суспензий на основе гидролизованного этилсиликата, поскольку, как и в случае с железом, вступают во взаимодействие с соляной кислотой и, повышая водородный показатель суспензии, переводят её в неустойчивое состояние.

Важной характеристикой ПМ является его КТЛР, влияние которого на свойства КО аналогично влиянию данного параметра зернистых обсыпочных материалов, используемых для изготовления КО.

Кварц кристаллический молотый пылевидный. Кварц кристаллический молотый пылевидный (пылевидный кварц) получают в результате помола очищенного кварцевого песка. В настоящее время выпускают две марки (А и Б) пылевидного кварца. Состав и свойства кристаллического молотого пылевидного кварца приведены в табл. 6.8.

Физико-химические свойства кварца пылевидного (ГОСТ 9077-82)

Таблица 6.8

Марка	Содержание веществ, % (по массе)					Потери при прокаливании, % (по массе)	Остаток на сетке, %, не более			Прочность через сетку № 005, %, не менее	Влажность, %, не более
	SiO ₂	Fe	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO		№ 016	№ 010	№ 0063		
А	>98,0	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	0,1–0,15	1,0	2,5	10,0	85,0	2,0
Б	>98,0	<0,25	<0,15	<1,0	<0,15	0,1–0,2	1,0	2,5	10,0	82,0	2,0

Основное различие марок пылевидного кварца (см. табл. 6.8) состоит в содержании железа и его окиси. В связи с этим пылевидный кварц марки А целесообразно использовать для приготовления огнеупорной суспензии на первый слой КО, а марку Б – на её последующие слои.

Помимо молотого кварца, существует кварц пылевидный кристаллический природного происхождения – маршалит. Использование маршалита для изготовления КО нежелательно в связи с его неоднородностью и нестабильностью по химическому и зерновому составу.

Дистен-силлиманит. Дистен-силлиманитовые порошки получают в результате помола дистен-силлиманита более крупных фракций. Физико-химические свойства дистен-силлиманитового порошка (концентрата) Вольгостского государственного горно-металлургического комбината (ТУ У 14-10-017-98) приведены в табл. 6.9.

Физико-химические свойства дистен-силлиманитового порошка

Таблица 6.9

Марка	Содержание веществ, % (остальное – SiO ₂)					Остаток на сетке № 315, %, не более	Влажность, %, не более
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂		
КДСП	57	<0,8	<0,2	<0,4	<2,5	3	0,5
КДСП-1	54	<0,8	<0,2	<0,4	<2,5	3	0,5
КДСП-2	48	<0,8	<0,2	<0,4	<2,5	3	0,5

Основная область использования порошков диоксида силиманита — KO , используемые для получения отливок из сплавов на основе никеля и кобальта, реже — для отливок из сплавов на основе железа и меди.

Электрокорунд белый. Характеристики зернистости по ГОСТ (ГОСТ 3847-90, ГОСТ 28818-90) и по стандарту FEPA, а также содержание оксидов (ГОСТ 3847-90, ГОСТ 28818-90) материала в порошках белого электрокорунда приведены в табл. 6.10 и табл. 6.11 соответственно.

Характеристики порошков белого электрокорунда Таблица 6.10

Зернистость ГОСТ (FEPA)	Размер зерен основной фракции, мкм	Содержание основной фракции, %	Массовая доля, % (по НТД)				Содержание магнитного материала, %, не более
			Al_2O_3 , не менее	Fe_2O_3	SiO_2	Na_2O	
ШЛИФЭРНО							
125 (F16)	1600-1200	45	99,6	0,03	0,1	0,2	0,010
100 (F20)	1200-1000						
80 (F24)	1000-800						
63 (F30)	800-630						
50 (F36)	630-500						
40 (F46)	500-400						
32 (F54)	400-315						
25 (F60)	315-250						
20 (F70)	250-200						
16 (F80)	200-160						
ШЛИФПОРОШКИ							
12 (F100)	160-125	45	99,5	0,03	0,1	0,3	0,010
10 (F120)	125-100						
8 (F150)	100-80						
6 (F180)	80-63	40		0,05			
МИКРОШЛИФПОРОШКИ							
M63 (F230)	63-50	45	99,5	0,03	0,1	0,3	0,007
M50 (F240 F280)	50-40						
M40 (F320 F360)	40-28						
M28 (F400)	28-20						
M20 (F500)	20-14						
M14 (F600)	14-10						
M10 (F800)	10-7						
M7 (F1000)	7-5						
M5 (F1200)	5-3						
M3 (F)	3-2						
M2 (F)	2-1	99,0	0,1	0,7	0,6	0,007	
M1 (F)	1 и меньше						

Примечание: НТД — нормативно-техническая документация (ТУ 3988-005-00658716-2000, ТУ 3988-013-00658716-2002, ТУ 2-036-288-89 и пр.)

Минусовые фракции микрошлифпорошков Таблица 6.11

Зернистость ГОСТ (FEPA)	Размер зерен основной фракции, мкм	Размер зерна в точке кривой распределения			Массовая доля, % (по НТД)			Содержание магнитного материала, %, не более	
		ds3, мкм	ds50, мкм	ds94, мкм	Al_2O_3 (не менее)	Fe_2O_3	SiO_2		Na_2O
минус 15 мкм	0-15	20,0-28,0	12,5-15,5	6,0-10,0	99,4	0,03	0,2	0,3	
минус 30 мкм	0-30								
минус 50 мкм	0-50								
минус 75 мкм	0-75								

Цирконовый концентрат. Цирконовый песок (силикат циркония) является природным минералом, встречается в россылях. Цирконовый песок обладает исключительно высокой огнеупорностью и химической инертностью к расплавам большинства черных и цветных металлов и сплавов, а также их окислам. Кроме этого циркон характеризуется низкой величиной КТЛР и большой теплоаккумулирующей способностью.

Как самостоятельный зернистый материал цирконовый песок для изготовления KO не применяют, а в огнеупорных суспензиях и для керамических стержней используют цирконовый концентрат, получаемый в результате помола силиката циркония. Физико-химические свойства порошка цирконового концентрата приведены в табл. 6.12.

Физико-химические свойства порошка цирконового концентрата Таблица 6.12

Марка	Содержание веществ, %						Остаток на сетке, %, не более		Влажность, %, не более
	ZrO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	торий + уран, экв. % тория	№ 0063	№ 005	
КЦП	>65,0	0,09<	0,3<	1,8<	0,14<	0,1<	3,0	20,0	0,5
КЦПТ	>60,0	Не нормируется				0,1<	Не нормир.	6,0	0,5

Вспомогательные материалы. К числу вспомогательных огнеупорных материалов относятся: пеношамот, керамзит, аглопорит, зольный гравий, вермикулит, обсириан, вспученный перлит, фарфоровая крошка, хризотилковый асбест и т.п.

Пористые огнеупорные материалы (пеношамот, керамзит, вермикулит и т.п.) используют, в основном для изготовления KO в мелкосерийном или серийном производстве отливок средних и крупных размеров, в качестве обсыпочного материала для одного — двух внутренних слоёв KO . Цель использования пористых огнеупорных материалов — создание буферного слоя в KO для повышения термостойкости KO , её газопроницаемости, податливости, а также повышения размерной точности изготавливаемых отливок.

Буферный слой — это внутренний слой KO , физические свойства и структура которого резко отличаются от аналогичных параметров остальных слоёв KO . Как правило, из десяти — восемнадцати слоёв KO буферный слой выполняют между 3-м...6-м слоями KO .

Использование пористых огнеупоров в качестве зернистого обсыпного материала одного из слоёв КО (буферного слоя), позволяет уменьшить количество слоёв КО. Кроме этого, буферный слой является своеобразным барьером, препятствующим распространению трещин в КО, образующихся в процессе выплавки модельного состава из КО, её прокаливания и заливки [210].

Хризотилловый асбест, в отличие от пористых огнеупоров, применяемых для обсыпки блоков, используют для приготовления огнеупорной суспензии буферного слоя в качестве наполнителя. Для приготовления огнеупорной суспензии буферного слоя, листового хризотилловый асбест предварительно обжигают при температуре 900...1000°С в течение 1...2 ч, после чего охлаждают до комнатной температуры и измельчают до порошкообразного состояния. При создании буферного слоя с использованием указанной суспензии для обсыпки буферного слоя используют тот же зернистый огнеупор, что и для других слоёв КО.

По сути, в рассматриваемом случае буферный слой представляет собой прослойку в теле КО, резко отличающуюся по своим прочностным свойствам (в меньшую сторону) от окружающих её слоёв огнеупорного покрытия. То есть все материалы, способствующие понижению прочности данного слоя, можно использовать для создания буферного слоя.

Помимо вышеуказанных, к числу материалов, используемых для создания буферного слоя, относятся: древесная пудра, сеченая солома, нить лавсана, капрона и т.п. Указанные материалы в процессе прокаливания КО выгорают, обеспечивая образование пористого слоя в теле КО с пониженными прочностными и теплофизическими свойствами.

Наличие буферного слоя, как было отмечено выше, благоприятно влияет не только на свойства КО, но и на качество получаемых отливок. Например, выполнение в КО буферного слоя из суспензии, содержащей графит (КО изготовлена на основе белого электрокорунда и этилсиликата), позволила авторам [113] не только увеличить податливость КО, но и повысить размерную точность турбинных лопаток, получаемых методом направленной кристаллизации.

Материалы, понижающие прочность отдельных слоёв КО к моменту её заливки, используют не только для выполнения буферных слоёв, но и лицевых. В частности, для увеличения податливости КО, используемых для направленного затвердевания фасонных отливок, авторы работы [46] использовали порошок эмали ЭВК-103, который, в количестве 3...7% вводили в первые два слоя КО. При нагреве КО до 1200°С эмаль ЭВК-103 переходит в жидкое состояние, обеспечивая не только податливость лицевого слоя КО, но и повышая чистоту поверхности отливок. По данным авторов [46], чистота поверхности отливок из сплава ЖС-6У при использовании эмали в составе КО повысилась с 4...5 класса до 5...6 класса.

К числу вспомогательных огнеупорных материалов также относится крошка, полученная в результате помола боя залитых КО [285]. Крошку фракцией 0,63...3,0 мм используют в качестве обсыпного материала керамических блоков на последние два-три слоя огнеупорного покрытия. Использование этой крошки позволяет не только экономить зернистый огнеупорный материал, но и способствует повышению газопроницаемости, трещиностойкости, прочности и термостойкости КО.

Нанесение на блок в качестве последнего слоя КО слоя жидкой синтетической смолы (мочевинно-формальдегидной или карбамидо-формальдегидной) и её последующее отверждение в жидком катализаторе позволяет вдвое уменьшить толщину обезуглероженого слоя на отливках из углеродистых сталей и существенно повысить прочность непрокалённой КО [82].

С целью повышения прочности КО для обсыпки одного или нескольких слоёв огнеупорного покрытия, начиная со второго, можно использовать стальную рубленую проволоку диаметром и длиной 0,2 мм [327], слюду [11], в огнеупорную суспензию (для двух-трёх слоёв КО) ввести нить боросиликатного стекловолокна, порезанную на длину 1...3 мм и т.п. Следует отметить, что на некоторых предприятиях с этой целью используют отожжённую стальную проволоку диаметром 1...2 мм, которой обматывают блок после нанесения на него 5...6 слоёв огнеупорного покрытия из общих 11...15 слоёв.

К числу вспомогательных материалов относятся и огнеупорные глины, используемые в огнеупорных суспензиях, взамен 5...15% (по массе) кварца пылевидного при изготовлении КО на основе кварцевого песка. Использование огнеупорных глин улучшает технологические свойства суспензии и КО и позволяет сэкономить соответствующее количество пылевидного кварца. В частности, использование глины в составе огнеупорной суспензии и её седиментационную устойчивость, а также повышает трещиностойкость КО, изготовленных на основе кварцевого песка.

Глины – это земляные обломочные горные породы осадочного происхождения, состоящие, в основном, из высокодисперсных гидратосиликатов. Основная фракция частиц тонкодисперсных глин – менее 0,001 мм. Добавки глины используют для суспензий, содержащих в качестве связующего вещества и гидролизованый раствор этилсиликата, и жидкое стекло, и кремнезоль.

Использование глин в составе огнеупорных суспензий на водной основе (например, в суспензиях с жидким стеклом или кремнезолем) предполагает определённую выдержку суспензии после ввода в неё глинистой составляющей. Это связано с тем, что, попадая в водную среду, глины набухают. Набухание глин происходит за счёт самопроизвольного поглощения и удержания воды частицами глины при их контакте с водой. Кинетика увеличения объёма глины при её набухании от времени нахождения в воде представлена на рис. 6.5, а на рис. 6.6 представлена зависимость между максимальным объёмом набухших глин (U) и их удельной поверхностью (S). Обозначения на рис. 6.6 соответствуют: 1 – пылевскому бентониту, 2 – горбскому бентониту, 3 – часов-ярской глине, 4 – киевской глине, 5 – петропавловской глине; 6 – глуховецкому каолину.

Из зависимостей, представленных рис. 6.5 и рис. 6.6, следует, что изменение объёма глины при набухании зависит от её удельной поверхности, то есть от дисперсности её частиц. При этом наиболее интенсивное увеличение объёма глины при набухании происходит за первые 8 с момента её контакта с водой. В последующее время скорость увеличения объёма набухающих глин существенно замедляется и через 12...24 ч практически становится равной нулю.

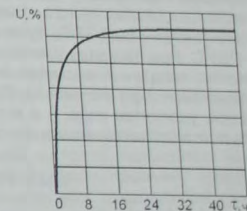


Рис. 6.5. Кинетика набухания глины в воде

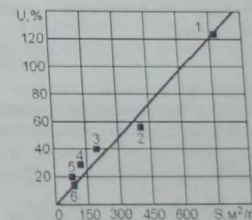
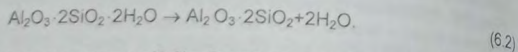


Рис. 6.6. Зависимость максимального объёма набухшей глины от её удельной поверхности в сухом состоянии

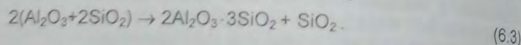
Из этого следует, что после ввода глины суспензию следует использовать не ранее, чем через 12...24 ч. В противном случае, технологические свойства приготавливаемой огнеупорной суспензии, по мере набухания глинистой составляющей, будут постоянно изменяться до окончания процесса набухания глины.

Использование глины в составе огнеупорной суспензии, приготовленной на основе жидкого стекла, преследует ещё одну цель – повышение прочности КО при высокой температуре.

В процессе прокаливания глиносодержащих КО со связующим на основе жидкого стекла присутствие натрия в составе материала КО приводит к образованию тройных химических соединений типа нефелинов – алюмосиликатов образования $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ с температура плавления 1526°C . Процесс образования нефелина сопровождается стабилизацией свойств жидкостекольной КО (усадки при прокаливании, прочности), однако не позволяет в полной мере компенсировать недостатки жидкостекольного связующего, поскольку в системе $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ существует тройная эвтектика с температурой плавления $\sim 760^\circ\text{C}$. При прокаливании КО, не содержащих щелочных металлов, в глинах и каолинах, введённых в состав огнеупорной суспензии, проходят довольно сложные изменения. При нагреве до 400°C из кристаллической решётки каолинита, постепенно удаляется вода, а в интервале $400...600^\circ\text{C}$ удаляется химически связанная вода вследствие разложения каолинита по реакции:



В результате прохождения реакции (6.2) образуется аморфный продукт – метакаолинит. Дальнейшее повышение температуры до 1000°C приводит к тому, что присутствующие в глинах карбонаты диссоциируют с выделением углекислоты, сульфиды окисляются с выделением сернистого газа, а органические примеси выгорают. При температуре 925°C происходит реакция с образованием кремниевой шпинели:



Все эти процессы приводят к уменьшению объёма глинистой составляющей, что благоприятно сказывается на свойствах КО (прочности и огнеупорности), изготовленной на основе кварца кристаллического.

При получении алюминиевых отливок использование высокопрочных КО нежелательно, поскольку зачастую это приводит к невозможности выбивки отливок без их повреждения. Поэтому КО, используемые для получения отливок из алюминиевых сплавов, изготавливают с пониженной прочностью, используя для этого, например, мраморную крошку. В случае использования мраморной крошки (МК-5, ГОСТ 16426-81) в составе обсыпного материала слоёв огнеупорного покрытия на модельном блоке (50...60% от массы кварцевого песка) кварцевые КО, изготовленные на основе гидратированного раствора этилсиликата, приобретают более высокую термостойкость, а их свойства изменяются в соответствии с зависимостями, представленными на рис. 6.7 [96].

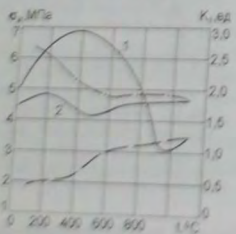


Рис. 6.7. Зависимость прочности (1) и газопроницаемости (2) КО от температуры при нагреве (сплошная линия) и охлаждении (пунктирная линия).

Как правило, способы получения отливок из алюминиевых сплавов в КО предполагают прокаливание КО (при $850...950^\circ\text{C}$) и их последующее охлаждение под заливку (до $100...350^\circ\text{C}$), что при использовании кварцевых КО нередко приводит к их разрушению до заливки. В связи с этим, во избежание разрушения кварцевых КО до или во время их заливки расплавом, охлаждение КО под заливку осуществляют в прокалочной печи (вместе с печью).

Подготовка огнеупорных материалов к использованию. В зависимости от состояния поставки используемых огнеупорных материалов и их качества проводят следующие виды подготовки: дробление, помол, промывку, сушку, прокаливание, просеивание, рассев, магнитную сепарацию и пр.

Дробление. В настоящее время в цехах литья по выплавляемым моделям дроблению подвергают лишь те огнеупорные материалы, исходное состояние которых не позволяет использовать их для обсыпки блоков. К числу таких материалов относятся, например, кварц плавневый, изначально находящийся в виде стеклоглыбы, периклазовая или шамотная крошка, получаемая в результате дробления, соответственно, периклазовых или шамотных изделий и т.п.

Помол. Как и дробление, помол огнеупорных материалов в литейных цехах используют редко и только в том случае, если данный ПМ не производится на специализированном предприятии.

Промывка. Как правило, промывке подвергают зернистые материалы для удаления из них пылевидной и глинистой составляющей, щелочей, карбонатов, намолотого в шаровой мельнице железа и т.п. В литейных цехах промывку проводят редко и, в основном, для кварцевого песка с повышенным содержанием глины. Промывку песка осуществляют в воде, которую в случае необходимости удаления из песка карбонатов подкисляют соляной кислотой.

Сушка. Из числа используемых огнеупорных материалов сушке подвергают кварцевый песок, поступающий в цех из карьера. Сушку песка проводят в сушилах барабанного типа либо в установках с кипящим слоем, оснащенных системой водяного охлаждения. В исключительных случаях сушке подвергают белый электрокорунд, проводя его сушку в противнях из нержавеющей стали или керамических коробах.

Прокаливание. Прокаливание огнеупорных ПМ проводят только в том случае, когда возникает острая необходимость нейтрализовать вредное влияние в ПМ намолотого в шаровой мельнице железа. В некоторых случаях прокаливание используют для изменения физико-химических свойств используемых ПМ, например, для муллитизации дистен-силлиманита, которая происходит в результате его нагрева до температуры более $1350...1400^\circ\text{C}$.

Просеивание. Просеиванию подвергаются как зернистые, так и ПМ. Цель просеивания зернистых и ПМ – удаление случайных инородных частиц крупного размера и комков слипшихся частиц, а также в случае использования ПМ в огнеупорной суспензии для первого слоя КО, для повышения чистоты поверхности изготавливаемых отливок.

Связующие материалы. Для изготовления КО используют растворы связующих материалов, где связующим веществом является тугоплавкий неорганический окисел (соединение окислов), образующий (образующие) при сушке и сохраняющий (сохраняющие) при прокаливании и заливке КО пространственную структуру.

В зависимости от величины водородного показателя связующие вещества разделяют по химическим свойствам на кислые, амфотерные и основные.

В табл. 6.13 приведен перечень наиболее известных связующих материалов, использовавшихся ранее и используемых в настоящее время в цехах, производящих литье по выплавляемым моделям.

Связующие материалы, применяемые для изготовления КО Таблица 6.13

Материал	Растворитель-разбавитель связующего вещества	Химическое свойство связующего окисла	Температура плавления или разложения связующего окисла, °С
Этилсиликат (ЭТС)	Спирты, ацетон и др. органические растворители. Вода, кремнезоль.	Кислый	1710
Фосфаты	Вода	Кислый	1600
Сочетание ЭТС с фосфатами	Вода	Кислый	1700
Сочетание ЭТС с кремнезольем	Вода	Кислый	1700
Сочетание фосфатов с жидким стеклом	Вода	Кислый	1600
Ацетоновый раствор кремниевой кислоты (АРК-1)	Ацетон	Кислый	1710
Оксид хрома, оксинитрат алюминия и др.	Спирт, вода	Амфотерный	Более 2100
Жидкое стекло	Вода	Щелочной	718
Кремнезоль	Вода	Щелочной	1710

Примечание. Помимо указанных в таблице связующих материалов, за рубежом используют: алюмосилоксан, зтокситанат, тетраэтилхлортанат, бутилтитанат, тетраизопропилитанат, цирконовые изопропилаты или бутилаты, нормальные и основные октаны алюминия и т.п. Для изготовления КО на основе обожжённого периклаза в качестве связующего вещества используют фосфат аммония, сернокислый магний и т.п.

Представленные в табл. 6.13 связующие материалы обладают различными связующими свойствами и, соответственно, обеспечивают получение КО с различной прочностью.

При этом зависимость прочности КО от содержания связующего в огнеупорной суспензии, как правило, носит экстремальный характер. Если рассматривать данную зависимость, например, применительно в огнеупорным суспензиям, приготовленным на основе гидролизованых растворов этилсиликата (ГРЭС), то следует отметить, что увеличение содержания связующего в огнеупорной суспензии способствует повышению прочности КО как при комнатной температуре, так и при температуре прокаливания, достигая максимума при определённом содержании. Дальнейшее повышение концентрации SiO_2 в связующем увеличивает скорость прохождения реакции гидролиза, однако уменьшает когезионную прочность геля кремниевой кислоты, что приводит к понижению прочности КО как при комнатной, так и при повышенной температуре.

Оптимальную концентрацию вяжущего вещества (SiO_2 , %) в связующем растворе огнеупорной суспензии, приготовленной на основе ГРЭС, при использовании ПМ с частицами округлой формы, автор рекомендует рассчитывать по эмпирическому уравнению (% по массе):

$$\text{SiO}_2 = \frac{58,3 \cdot H \cdot S_y}{\rho_{\text{нап}}} \pm 1, \quad (6.4)$$

где H – коэффициент наполнения огнеупорной суспензии ПМ (H – отношение массы ПМ, в кг, в огнеупорной суспензии к объёму, в литрах, жидкой составляющей

огнеупорной суспензии); $\rho_{\text{нап}}$ – плотность ПМ (наполнителя суспензии), кг/м^3 , S_y – удельная площадь поверхности ПМ, $\text{м}^2/\text{кг}$.

Например, при использовании ГРЭС и кварца пылевидного ($\rho_{\text{нап}} = 2650 \text{ кг/м}^3$) с $S_y = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$, при $H=2,7$ величина SiO_2 составит:

$$\text{SiO}_2 = \frac{58,3 \cdot H \cdot S_y}{\rho_{\text{нап}}} \pm 1 = \frac{58,3 \cdot 2,7 \cdot 300}{2650} \pm 1 = 17,8 \pm 1\%.$$

Если в качестве ПМ огнеупорной суспензии (наполнителя) использован белый электрокорунд ($\rho_{\text{нап}} = 3990 \text{ кг/м}^3$) с $S_y = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$, то при $H=3,5$ величина SiO_2 составит:

$$\text{SiO}_2 = \frac{58,3 \cdot H \cdot S_y}{\rho_{\text{нап}}} \pm 1 = \frac{58,3 \cdot 3,5 \cdot 300}{3990} \pm 1 = 15,3 \pm 1\%.$$

Наиболее широко используемые в литье по выплавляемым моделям связующие вещества в исходном состоянии являются золя. В этих случаях, твердение связующего и приобретение КО прочности происходит в результате перехода золя в гель.

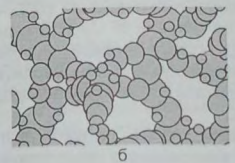


Рис. 6.8. Строение золя (а) и высохшего геля (б):
1 – дисперсная фаза;
2 – дисперсионная среда

Золя – высокодисперсная коллоидная система с жидкой дисперсионной средой (см. рис. 6.8,а). Частицы дисперсной фазы золя, или мицеллы, характеризуются столь малыми размерами ($10^{-5} \dots 10^{-7}$ см), что, независимо друг от друга, активно участвуют в броуновском движении. Это состояние позволяет мицеллам постоянно находиться во взвешенном состоянии (не оседать под действием силы тяжести). Золи с водной дисперсионной средой называются гидрозолями, а с органической средой – органозолями.

Золи классифицируют на лиофильные и лиофобные. Леофильные золи образуются самопроизвольно и не разрушаются со временем. Леофобные золи, вследствие самопроизвольного слипания (коагуляции) или слипания (коалесценции) частиц, постепенно разрушаются хотя при наличии стабилизатора в рассматриваемой системе процесс слипания (слипания) её частиц может быть достаточно длительными.

Гели – дисперсные системы с жидкой дисперсионной средой, обладающие определёнными свойствами твёрдых тел (способностью сохранять форму, прочностью, упругостью, пластичностью). Эти свойства гелей обусловлены существованием у них структурной сетки (каркаса), образованной частицами дисперсной фазы, которые связаны между собой молекулярными силами различной природы (см. рис. 6.8,б).

Типичные гели в виде студенистых осадков (коагелей) образуются из золей при их коагуляции либо в процессе выделения новой фазы из пересыщенных растворов как низкомолекулярных, так и высокомолекулярных веществ. Гели с водной

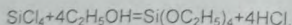
дисперсионной средой называют гидрогели, гели с жидкой углеводородной средой – органогелями.

Отверждение зелей во всём объёме без выделения осадка и нарушения их однородности даёт так называемые лиогели. В лиогелях вся дисперсионная среда лишена подвижности (иммобилизована) вследствие её механического захвата и удерживания в ячейках образовавшейся структурной сетки. Лиогели характеризуются низкой прочностью, пластичностью, определённой эластичностью и тиксотропией, то есть способностью обратимо восстанавливать структуру, разрушенную в результате механического воздействия на лиогель.

В результате высушивания некоторых лиогелей получают аэрогели (ксерогели) – микропористые системы, лишённые пластичности, имеющие хрупкую, необратимо разрушаемую структуру. В частности, данным способом получают сорбенты (алюмогель – из геля гидроокиси алюминия и силикагель – из студней кремневой кислоты).

Этилсиликат. Этилсиликат представляет собой прозрачную жидкость от светло-желтого до светло-коричневого цвета с температурой кипения 165,5°C, со специфическим запахом эфира, и относится к классу кремнийорганических полимеров – полиорганосилоксанов. Наибольшее распространение на отечественных предприятиях получили этилсиликаты марок ЭТС-32 и ЭТС-40.

В промышленных объёмах этилсиликат изготавливают на специализированных предприятиях в результате проведения реакции этерификации (эфиризации) четырёххлористого кремния, которая, при условии использования абсолютного этилового спирта, имеет вид:



Реакцию этерификации между четырёххлористым кремнием и этиловым спиртом проводят в реакторе при их непрерывном смешивании и охлаждении (SiCl_4 – жидкость с плотностью при н.у. 1,483 г/см³ и температурой кипения 57°C). В результате прохождения реакции образуется этиловый эфир ортокремниевой кислоты $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, называемый также тетраэтоксисилоном, моноэфиром или мономером, и хлористый водород (HCl). Образовавшийся из этилсиликата хлористый водород частично удаляют отгонкой, при температуре 120...127°C.

В промышленных условиях производства этилсиликата, где используют спирт, содержащий определённое количество воды, в составе этилсиликата присутствует не только эфир ортокремниевой кислоты и хлористый водород, но и продукты конденсации этилового эфира ортокремниевой кислоты (полисилоксаны). Состав и количество образующихся полисилоксанов зависит от количества воды, участвующей в реакции этерификации.

Для получения этилсиликата используют спирты с различным содержанием воды, с увеличением количества которой увеличивается выход полисилоксанов. Образование полисилоксанов обусловлено прохождением реакции гидролиза между водой и продуктами реакции этерификации. В результате прохождения данной реакции образующиеся молекулы полисилоксанов конденсируются с выделением воды, которая вновь вступает в реакцию и т.д. Так, например, при использовании обезвоженного (абсолютного) спирта получают этилсиликат, содержащий после отгонки части хлористого водорода 50...70% $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ (моноэфира), 50...30% продуктов его конденсации (полисилоксанов) и до 0,1% HCl. При этом содержание условного SiO_2 в этилсиликате составляет 30...34%. Торговая марка такого этилсиликата – ЭТС-32 (в марке этилсиликатов числом принято обозначать условное содержание в них SiO_2 по массе).

При использовании в реакции этерификации этилового спирта с содержанием воды 7...9% получают этилсиликат марки ЭТС-40 с содержанием SiO_2 38...42% условно. При этом содержание моноэфира в ЭТС-40 – менее 10%. Показатели этилсиликатов ЭТС-32 и ЭТС-40 приведены в табл. 6.14.

Показатели этилсиликатов ЭТС-32 и ЭТС-40

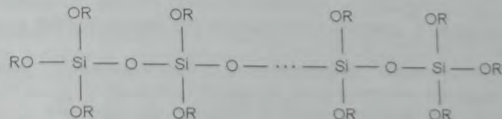
Таблица 6.14

Показатель	Марка этилсиликата (ТУ, ГОСТ)	
	ЭТС-32 (ТУ 6-02805)	ЭТС-40 (ГОСТ 5.1174)
Внешний вид	Жидкость, допускается опалесценция	Жидкость от бесцветного до светло-желтого цвета
Плотность при 20°C, кг/м ³	≤ 1000	1040–1070
Вязкость кинематическая при 20°C, мм ² /с	Не более 1,6	3,5–6,0
Содержание, % по массе:		
HCl	≤ 0,1	0,1
SiO ₂	32±2	40±2
Содержание, % по массе:		
- фракция с температурой кипения до 110°C	≤ 2,0	Не анализируется
- этоксильных групп (C ₂ H ₅ O)	-	60–72
- тетраэтоксисилона (эфира ортокремниевой кислоты)	50–70	≤ 10
- этилового спирта	-	≤ 0,5
Продолжительность гелеобразования, мин	-	150–210

Кроме этилсиликатов ЭТС-32 и ЭТС-40 известен этилсиликат ЭТС-50. В составе этилсиликата ЭТС-50 отсутствует моноэфир, а содержание условного SiO_2 составляет 51...54%. В настоящее время этилсиликат марки ЭТС-50 отечественными предприятиями в промышленно значимых количествах не производится.

Преимущество этилсиликатов с большим содержанием условной двуокиси кремния, перед этилсиликатами с меньшим содержанием условного SiO_2 состоит в том, что для получения КО с одинаковой прочностью этилсиликата, содержащего большее количество условной двуокиси кремния, расходуется меньше.

В исходном состоянии этилсиликат является смесью высокомолекулярных соединений, молекулы которых имеют линейное строение, например:



где R – радикал C₂H₅.

Сам по себе этилсиликат, из-за линейного строения молекул, не обладает вязкими свойствами. Для придания связующих свойств этилсиликат необходимо гидролизовать. Гидролиз – это химическая реакция замещения, в результате которой в этилсиликате происходит замещение этоксильных групп (C₂H₅O), гидроксильными (OH), входящими в состав воды, используемой для проведения гидролиза. При этом гидролиз этилсиликата сопровождается процессом поликонденсации [266; 311] – объединением молекул в одну, с образованием полимера и выделени-

ем простейшего вещества (H₂O), с которыми и этилсиликат, и полимер, могут вступать в реакцию.

Поликонденсация – процесс ступенчатый, поскольку образование макромолекул происходит в результате ряда реакций последовательного взаимодействия мономеров, димеров или n-меров как между собой, так и друг с другом. Элементные составы исходных мономеров и полимера отличаются на группу атомов, выделявшихся в виде низкомолекулярного продукта (в данном случае – H₂O).

Полимеризация – это процесс объединения молекул, не сопровождающийся выделением простейшего вещества.

Для описания свойств связующих материалов, приготовленных на основе гидролизованного раствора этилсиликата, используют понятия степени гидролиза и мольного отношения. Степень гидролиза – это отношение количества замещённых этоксильных групп (C₂H₅O) к их общему количеству в этилсиликате, выраженное в процентах. Мольное отношение – это отношение массы воды, используемое для гидролиза, к массе этоксильных групп этилсиликата (M=H₂O/OR).

В зависимости от количества используемой для гидролиза воды, этоксильные группы (C₂H₅O) частично или полностью замещаются гидроксильными группами (OH), содержащимися в воде. В результате этого нарушается линейность исходных молекул этилсиликата, и продукты реакции гидролиза приобретают вязущие свойства.

В реальных условиях процесс гидролиза осложняется отсутствием взаимной растворимости этилсиликата с водой, то есть данные жидкости расслаиваются при смешивании. Поэтому реакция гидролиза в системе этилсиликат-вода может проходить только на границе раздела этих жидкостей и при большом местном избытке воды. Продуктами реакции в данном варианте проведения гидролиза являются кремниевые кислоты и незначительное количество спирта. Кремниевые кислоты, обладая низкой стойкостью в водно-спиртовой среде, достаточно быстро коагулируют, в связи с чем процесс гидролиза, проходящий по данной схеме, сопровождается образованием осадка (помутнения раствора) или студнеобразной массы.

Для предупреждения возникновения вышеописанной ситуации следует создать условия, при которых гидролиз этилсиликата приводил бы к получению технологически пригодного связующего раствора. С этой целью для гидролиза этилсиликата используют спирт, ацетон или их растворы. Дело в том, что в указанных жидкостях хорошо растворяются и этилсиликат, и вода, и продукты гидролиза. В связи с этим при смешивании данных жидкостей получают истинный раствор, в котором реакции гидролиза и поликонденсации проходят по всему объёму, а продукты реакции остаются в растворе. В качестве катализатора реакции гидролиза используют соляную кислоту.

Связующие растворы, приготовленные с использованием органического растворителя (ацетона, спирта и т.п.), сохраняют свои вязущие и технологические свойства достаточно длительное время. Причём, чем меньшим количеством воды был гидролизован этилсиликат, тем большей живучестью обладают ГЭС.

Жидкое стекло – раствор гидрозоля кремнезёма с двуокисью натрия в воде, представляющий собой густую жидкость желтого или серого цвета без механических примесей и включений, видимых невооружённым глазом. Вязущие свойства жидких стёкол обуславливаются, в основном, за счёт процесса их дегидратации в воздушно-сухой среде, то есть путём удаления влаги из жидкого стекла, что вызывает агрегацию (поликонденсацию) частиц силикатов щелочных металлов и образование твёрдого и прочного вещества.

Жидкие стекла изготавливают на основе натрия, калия или лития. С точки зрения технологических свойств, необходимых для изготовления КО, жидкие стекла на

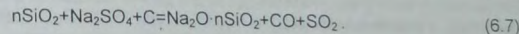
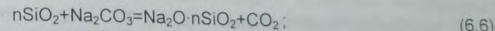
основе натрия, калия или лития практически не отличаются друг от друга. Тем не менее, эти жидкие стекла различаются по цене, из которых натриевое жидкое стекло является наиболее дешёвым и наименее дефицитным. В связи с этим, в литье по выплавляемым моделям используют преимущественно натриевое жидкое стекло (ГОСТ 13079-81).

Основными параметрами, характеризующими состав и свойства жидкого стекла, являются его силикатный модуль и плотность. Силикатный модуль определяет мольное отношение диоксида кремния к щелочному оксиду и, как правило, находится в пределах от 2,65 до 3,40, плотность жидкого стекла составляет 1,36...1,51 г/см³, водородный показатель pH=11...13. Для натриевого жидкого стекла силикатный модуль M_{SiO2} рассчитывают по уравнению:

$$M_{SiO_2} = 1,032 \cdot \frac{SiO_2}{Na_2O} \quad (6.5)$$

где SiO₂ и Na₂O – содержание оксидов кремния и оксидов натрия в жидком стекле соответственно, % (по массе).

Натриевое жидкое стекло получают сухим способом, мокрым способом и способом возгонки. Из перечисленных способов наибольшее распространение получил сухой способ. В сухом способе смесь кварцевого песка с содой или сульфатом натрия (или со смесью соды и сульфата натрия) плавят при 1300...1500°С в ваннах лещах, получая исходный продукт для производства жидкого стекла – силикат-глыбу. При плавке смеси кварцевого песка и сульфата натрия в расплав добавляють раскислитель – угольный порошок или древесные опилки. В результате проведения плавки проходят следующие реакции:



Полученный расплав силикат-глыбы охлаждают до комнатной температуры, дробят и растворяют в автоклаве под давлением перегретого пара 0,3...0,5 МПа в течение 3...5 ч. Полученный раствор фильтруют и концентрируют (выпаривают воду). То есть конечным продуктом описанного производства является товарное жидкое стекло, представляющее собой водный раствор Na₂O·nSiO₂ определенной плотности.

Присутствующие в силикат-глыбе примеси резко снижают её растворимость в воде. В связи с этим в растворимом стекле не должно содержаться более 1,0...1,35% (Al₂O₃+FeO) и 0,4...0,6% CaO.

В зависимости от используемых исходных материалов жидкое стекло подразделяют на содовое, содово-сульфатное и сульфатное. В литье по выплавляемым моделям используют преимущественно содовое жидкое стекло. Состав и свойства натриевого жидкого стекла приведены в табл. 6.15 (ГОСТ 13078-81).

Таблица 6.15

Состав и свойства натриевого, жидкого стекла

Содержание, % (по массе)						Силикатный модуль, (M _{SiO2})	Плотность, кг/м ³
SiO ₂	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃	Вода		
29,5-36,0	10,9-13,8	<0,25	<0,20	<0,15	Остальное	2,5-3,2	1470-1510

Физико-химические свойства жидкого стекла во многом зависят от величины его модуля, плотности и температуры, о чём свидетельствуют рис. 6.9 и рис. 6.10.

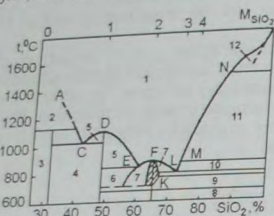


Рис. 6.9. Диаграмма состояния системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$

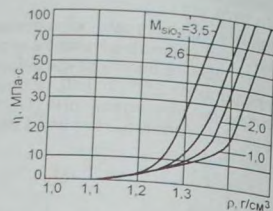


Рис. 6.10. Зависимость динамической вязкости натриевого жидкого стекла от M_{SiO_2} и ρ при 20°C [302]

На рис. 6.9 представлена диаграмма системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$, а на рис. 6.10 представлена зависимость динамической вязкости натриевого жидкого стекла от его модуля (M_{SiO_2}) и плотности (ρ) при 20°C . На рис. 6.9 области фазового состояния жидкого стекла имеют следующие обозначения: 1—жидкость; 2 — Na_2O +жидкость; 3 — $\text{Na}_2\text{O}+2\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$; 4 — $2\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2+\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$; 5 — $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ +жидкость; 6 — $\alpha\text{-Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$; 7 — $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$ +жидкость; 8 — $\beta\text{-Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$; 9 — $\alpha\text{-Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$ + α -кварц; 10 — α -кварц+жидкость; 11 — α -тридимит+жидкость; 12 — α -кристобаллит+жидкость

Из диаграммы, представленной на рис. 6.9, следует, что температура плавления жидкого стекла с модулем (M_{SiO_2}) от 2-х до 4-х находится в области $800\dots 1100^\circ\text{C}$. При этом, с увеличением модуля температура плавления стёкол увеличивается и достигает $1690\dots 1710^\circ\text{C}$ при $M_{\text{SiO}_2}=60\dots 90$. Согласно диаграмме, приведенной на рис. 6.9, температура плавления жидких стёкол также возрастает и при снижении модуля ($M_{\text{SiO}_2}<2$). Тем не менее, эти стёкла использовать в литье по выплавляемым моделям не рекомендуется в связи с определёнными сложностями, возникающими при их использовании для изготовления КО.

Из рис. 6.10 видно, что с повышением концентрации Na_2O - $n\text{SiO}_2$ в жидком стекле (с повышением плотности) увеличивается его вязкость и всё заметнее сказывается влияние величины модуля жидкого стекла на его вязкость.

Существенными недостатками жидкого стекла, как связующего, используемого в литье по выплавляемым моделям, является длительная сушка слоёв огнеупорного покрытия, обратимость твердения жидкого стекла, невысокая термостойкость и значительная усадка КО при температуре, превышающей 600°C .

С целью сокращения длительности сушки слоёв огнеупорного покрытия, изготовленного на основе жидкого стекла, повышают модуль используемого жидкого стекла. Повышения модуля достигают путём частичной нейтрализации двуокиси натрия за счёт обработки жидкого стекла соляной кислотой, хлористым аммонием и т.п. При этом важно определить предельно допустимое количество нейтрализуемого Na_2O — порог коагуляции. В противном случае (в случае "передозировки" нейтрализующего вещества) жидкое стекло необратимо коагулирует, приобретая консистенцию желе.

То есть, проводя подготовку жидкого стекла, важно знать порог его коагуляции — характеристику агрегативной устойчивости жидкого стекла как коллоидной систе-

мы и его активности при взаимодействии с различными отвердителями. Порог коагуляции определяет количество двуокиси натрия (в %), которое необходимо нейтрализовать каким-либо химическим веществом, для того чтобы вызвать коагуляцию жидкого стекла. Порог коагуляции определяют как экспериментальным, так и расчётным путём, например, по уравнению [302]:

$$\text{ПК}=2,58 \cdot \frac{a}{m}, \quad (6.8)$$

где ПК — массовая доля нейтрализованной двуокиси натрия, %; а — расход 1н HCl , мл; m — масса пробы жидкого стекла, г.

Расчётным путём величину порога коагуляции определяют исходя из допущения, согласно которому жидкое стекло, например, имеющее $\text{pH}=13$, коагулирует при $M_{\text{MAX}} \geq 4$. В этом случае порог коагуляции рассчитывают по уравнению:

$$\text{ПК}=0,25 \cdot \text{Na}_2\text{O} (M_{\text{MAX}} - M_{\text{SiO}_2}) = 0,25 \cdot \text{Na}_2\text{O} (4 - M_{\text{SiO}_2}), \quad (6.9)$$

где Na_2O — содержание двуокиси натрия в жидком стекле, %.

То есть, например, при $M_{\text{SiO}_2}=3,1$ и содержании двуокиси натрия в жидком стекле 11,2% (по массе), величина порога коагуляции жидкого стекла, согласно уравнению (6.9), составит:

$$\text{ПК}=0,25 \cdot 11,2 \cdot (4 - 3,1) = 2,52\%.$$

В настоящее время для изготовления КО всё большее применение находят жидкие стёкла с большими значениями модуля ($M_{\text{SiO}_2} \gg 4$), которые изготавливают на специализированных предприятиях. К числу таких предприятий относится ЗАО "СИАЛИТ" (Россия). Физико-химические свойства таких натриевых стёкол с высокомолекулярным модулем, производимых предприятием ЗАО "СИАЛИТ", приведены в табл. 6.16.

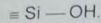
Таблица 6.16

Физико-химические свойства жидких натриевых стёкол, изготавливаемых в соответствии с ТУ 2145-001-43811938-97 и ТУ 2145-002-43811938-97

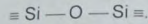
Показатели	Значения показателей для марок:			
	СИАЛИТ 30-5	СИАЛИТ 30-40	СИАЛИТ 30-50	СИАЛИТ 30-60
Внешний вид	Жидкость слабо-жёлтого или серого цвета без видимых механических примесей и включений			
Массовая доля диоксида кремния, %	22-30	26,6-30,8	26,6-30,8	26,6-30,8
Массовая доля оксида натрия, %	4,45-6,47	0,57-0,85	0,47-0,67	0,39-0,54
Силикатный модуль (M_{SiO_2}), ед	4,5-4,8	35-45	45-55	55-65
Плотность, г/см ³	1,18-1,22	1,185-1,205		
Водородный показатель (pH), ед	11-13	9-10,8		
Кинематическая вязкость, мм ² /с, не более	10			

Кремнезоль — водный коллоидный раствор двуокиси кремния, стабилизированный микродобавкой двуокиси натрия. Кремнезоль представляет легкоподвижную, прозрачную, бесцветную либо светло-голубоватую жидкость, состоящую из воды (дисперсионная фаза) и из частиц аморфного кремнезёма размером от 10 до 25 нм (дисперсная фаза). Содержание двуокиси кремния в кремнезольях различных марок,

в состоянии поставки, составляет 20...40% по массе, содержание двуокиси натрия — 0,01...0,65%. При этом модуль кремнезоль для различных марок изменяется от 60 до 300, а показатель pH — от 7 до 10,5.
Кремнезоли в исходном состоянии содержат силанольные группы:



Связующие свойства кремнезоль обеспечиваются путём поликонденсации силанольных групп, вызванной понижением агрегативной устойчивости системы за счёт изменения её водородного показателя или удалением воды из раствора. Поликонденсация силанольных групп сопровождается образованием прочных силоксановых связей.



Кремнезоли производят на специализированных предприятиях, в основном, по технологии ионного обмена (ионообменным способом). Для получения кремнезоля по ионообменному способу предварительно разбавленный и очищенный от механических примесей водный раствор жидкого натриевого стекла с модулем 2,8...3,0 пропускают через катионообменный фильтр (колонку с ионообменной смолой типа КУ-2-8). При прохождении через этот фильтр в жидком стекле происходит обмен катионов натрия на катион водорода из катионита. В результате обменной реакции получают раствор поликонденсированной смеси кремневых кислот $x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$. Стабилизируют полученный раствор гидроокисью натрия в количествах, обеспечивающих получение величины $\text{pH}=7,0...10,5$ и модуля 60...300. Впоследствии при атмосферном давлении раствор гидрозоля диоксида кремния термообработывают острым паром (при температуре до 100°C) в течение 2,5...3,0 ч и выпаривают из раствора воду для получения содержания SiO_2 в растворе в пределах от 200 до 400 г/л.

С момента изготовления кремнезоль можно хранить в течение года. За это время количество выпавшей в осадок двуокиси кремния не должно превышать 10% от её исходного количества в растворе.

Кремнезоль относится к числу готовых связующих и в качестве связующего вещества для изготовления КО используется самостоятельно или в сочетании с этилсиликатом при гидролизе без органических растворителей (комплексное связующее). Для изготовления КО используют кремнезоли марок "Ludox-SL" и "Nalcoag" (США), "Syton" (Англия), "Snowtex" (Япония), "СИАЛИТ" (Россия) и др.

Физико-химические показатели кремнезоль марок, "СИАЛИТ-20" и "СИАЛИТ-20С" (ТУ 2145-003-43811938-97) приведены в табл. 6.17

Физико-химические показатели кремнезоль марок "СИАЛИТ"

Таблица 6.17

Показатели	Значения	
	СИАЛИТ-20	СИАЛИТ-20С
Массовая доля диоксида кремния, %	20-22	
Плотность при 20°C, г/см ³	1,133-1,135	1,133-1,138
Водородный показатель (pH), ед	9,5-10,5	10-12
Кинематическая вязкость, мм ² /с (сСТ), не более	10	
Угол смачивания, град, не более	90	50
Время падения пены, с	10-15	

Примечание: Связующее "СИАЛИТ-20С" представляет собой водный раствор высокодисперсного коллоидного силиката натрия с добавкой загустителей и ПАВ.

За рубежом кремнезоли, после этилсиликата, нашли самое широкое распространение в цехах литья по выплавляемым моделям. В частности, в цехах литья по выплавляемым моделям США [86] используют кремнезоль марки Primcote (для внутренних слоёв КО) и кремнезоль марки Pascode (для наружных слоёв КО). Данные связующие выполнены на основе кремнезоля и содержат пеногаситель, ПАВ, загуститель, цветовой индикатор высушенности слоя огнеупорного покрытия на модельном блоке и ряд других запатентованных присадок.

Поскольку кремнезоли являются водными дисперсиями — они пожаробезопасны, обладают крайне низкой токсичностью, не изменяют свойств в суспензии, что обеспечивает её большую живучесть и стабильность свойств получаемых КО. Существенным недостатком кремнезоль на сегодняшний день является относительно невысокая прочность КО в непрокалённом состоянии ($\sigma_{\text{н}}=1,5...2,7$ МПа), что сдерживает использование кремнезоля для изготовления КО механизированным способом. Кроме того, как и у всех водных связующих, у кремнезоль весьма длительный цикл сушки слоёв огнеупорного покрытия, а храниться кремнезоль должен при температуре не ниже +5°C. Ограничение по температуре хранения кремнезоль вызвано тем, что при отрицательной температуре кремнезоль кристаллизуется (замерзает) и после размораживания теряет вяжущие свойства.

В процессе приготовления огнеупорных суспензий кремнезоли вспениваются. Во избежание пенообразования, в суспензию, содержащую кремнезоль, вводят пеногаситель — полиметилсиликолан [94]. Для обеспечения равномерности толщины слоя огнеупорного покрытия, наносимого на модельный блок, в кремнезоль вводят загуститель — полиэтиленгликоль. Для сокращения длительности сушки слоёв КО, изготовленных на основе кремнезоля, в суспензию вводят 1,2% (сверх 100%) омыленной древесной смолы или других понизителей вязкости. Использование понизителей вязкости, кроме этого, позволяет увеличить количество введенного в суспензию ПМ.

Сократить длительность сушки КО на основе кремнезоля возможно в результате использования для каждого слоя КО специальной добавки — гидрофобидизатора, или в результате подогрева суспензии или обсыпочного материала для КО. При этом, в качестве гидрофобидизатора, например, может быть использован 70%-ный раствор этилсиликата в ацетоне.

Нагрев суспензии и песка для выполнения второго слоя КО — до 35°C, для третьего слоя — до 40°C, для четвёртого слоя — до 45°C, а также использование гидрофобидизатора позволяет сократить длительность сушки каждого слоя КО в 2...3 раза [94].

Ацетоновый раствор кремниевой кислоты (АРК-1). АРК-1 получают в результате специальной физико-химической обработки жидкого стекла [246]. Принцип получения АРК-1 состоит в нейтрализации двуокиси натрия в водном растворе жидкого стекла серной кислотой с последующим вводом в раствор ацетона и отделением воды от ацетона путём добавления в раствор хлористого натрия. В связи с тем, что хлористый натрий и образовавшийся в результате реакции нейтрализации сульфат натрия растворимы только в воде, а коллоидный кремнезём растворим преимущественно в ацетоне, при вводе в раствор хлористого натрия происходит разделение растворов воды и ацетонового раствора кремниевой кислоты. В результате непродолжительной выдержки в ёмкости, после растворения хлористого натрия, раствор расслаивается. При этом ацетоновый раствор кремниевой кислоты оказывается сверху, а водный раствор солей натрия снизу. Слитый отдельно от воды ацетоновый раствор кремниевой кислоты, собственно, и является связующим АРК-1, у которого содержание SiO_2 составляет 10...12% (по массе), а водородный показатель $\text{pH}=2...3$.

В литье по выплавляемым моделям связующее АПК-1 применено не нашло, в связи низкой прочностью изготавливаемых из него КО и низкой живучестью связующего (1...2 дня, при температуре 15...18°C, в герметичной ёмкости). Кроме того, в процессе приготовления и нанесения огнеупорной суспензии на модельный блок температура суспензии должна быть также в пределах 15...18°C, что негативно отражается на размерной точности и целостности моделей и модельных блоков.

Фосфатные связующие. Фосфатное связующее – раствор фосфорной кислоты и её солей, а также твёрдые кислые соли с различной степенью замещения. К числу фосфатных связующих веществ относятся: ортофосфорная кислота, фосфаты натрия, железофосфат, железолоумофосфат, алюмохромофосфаты, алюмофосфаты, магниилоумофосфаты, алюмоборофосфаты и др. Фосфатные связующие хорошо растворимы в воде и нерастворимы в спиртах и ацетоне. В процессе сушки связующие образуют полимерные структуры типа $Me_nO_m \cdot P_2O_5 \cdot nH_2O$, которые при нагреве теряют воду.

Из числа связующих веществ данной группы наиболее известным является алюмохромофосфат (АХФ). АХФ – густая жидкость (условная вязкость по ВЗ-4 составляет 58...60 с) темно-зелёного цвета, плотностью 1,55...1,75 г/см³, хорошо растворимая в воде, имеющая водородный показатель pH=1. Общая химическая формула АХФ – $Al_2O_3 \cdot xCr_2O_3 \cdot (xCrO_3) \cdot yP_2O_5 \cdot nH_2O$.

Промышленность производит АХФ двух сортов – с трёхвалентным и шестивалентным хромом. Состав и свойства АХФ приведены в табл. 6.18.

Состав и свойства АХФ

Таблица 6.18

Содержание, % (по массе)					Потери при прокаливании, % (по массе)	Плотность, кг/м ³
Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₄ -иона	формальдегид*		
3,7-4,5	8-10	36-39	≤0,5	≤0,2	47-55	1550-1650
3,5-4,5	6,5-9,0	35-39	-	-	-	1600-1750

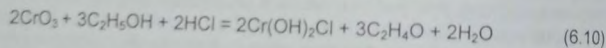
Примечание. * – вводится в качестве восстановителя, исключающего присутствие токсичного иона шестивалентного хрома.

АХФ, как и все фосфатные связующие, характеризуют мольным отношением $M_{P_{205}} = P_2O_5 / MeO_2$ и показателем общей концентрации растворённых веществ.

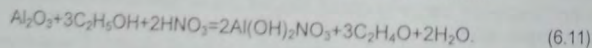
Фосфатные связующие, как самостоятельный связующий материал, широкого распространения в литье по выплавляемым моделям не нашли. Чаще всего однозамещённые фосфаты и алюмометаллофосфаты используют в сочетании с ЭТС, заменяя им часть ЭТС или органический растворитель.

Амфотерные связующие. К числу амфотерных связующих относятся растворы основных солей алюминия, хрома, циркония (оксинитраты, оксихлориды, бихроматы), такие как $Cr(OH)_2Cl$, $Al(OH)_2NO_3$ и др. [153; 186 и др.], а также растворы цирконийорганического соединения (тетрахлорэтилцирконаты).

Оксисоли получают путём, например, восстановления хромового ангидрида этиловым спиртом (ацетоном) в присутствии соляной кислоты:

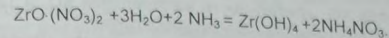


или аналогичным образом, например, получают оксинитрат алюминия:



Вязущие свойства данные связующие приобретают в процессе сушки и прокалывания КО за счёт образования на поверхности зёрен огнеупорных составляющих КО окислов хрома, алюминия или циркония.

В некоторых случаях, при литье титановых сплавов, для изготовления КО с повышенной термохимической стойкостью используют двуокись циркония и в качестве связующего вещества – раствор основной соли азотно-кислого циркония – $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$. В этом случае сушку слоёв КО проводят в среде аммиака при комнатной температуре:



После прокалывания КО при 950...1000°C гидроокись циркония разлагается с выделением воды и образованием двуокиси циркония, обеспечивая однородность КО по химическому составу.

Амфотерные связующие в отечественной практике литья по выплавляемым моделям широкого распространения не нашли в связи с низкой живучестью (8...10 ч с момента приготовления) и необходимостью хранения и работы с суспензией при температуре от 0 до -5°C.

Вспомогательные вещества. В число вспомогательных веществ, используемых для приготовления огнеупорных суспензий, входят жидкие растворители-разбавители (РР), поверхностно-активные вещества (ПАВ), антииспарители и т.п.

Растворители-разбавители (РР). Основное назначение РР в суспензии – растворение связующего вещества и (или) обеспечение требуемой концентрации связующего вещества в жидкой фазе суспензии путём её разбавления.

Свойства РР, наиболее часто используемых для изготовления КО, приведены в табл. 6.19.

Таблица 6.19

Свойства веществ, используемых в качестве растворителей-разбавителей

Наименование (ГОСТ)	Плотность при 20°C, кг/м ³	ПДК* _{ср} , мг/м ³	Класс опасности*	Температура вспышки (в закрытом тигле), °C	Температура кипения, °C	Относительная скорость испарения
Ацетон (2768-84)	790	200	IV	-18	56,5	1
Бензин марки БР-1 (443-76)	730	100	IV	-17	88-110	2,2
Спирт этиловый, технический ¹ (17299-73, 18300-87)	~790	1000	IV	+13	~78	5,1
Эфиральдегидная фракция ² (18-121-80)	~810	1000	IV	+13	~78	5,2
Спирт изопропиловый (9805-84)	815-822	10	III	+14	81-83	5,6
Бутилацетат (8981-78)	875	200	IV	+22	110-145	8,6
Растворитель ³ 646 (18188-72)	820-845	-	-	-	-	12,8
Вода	998,2	нет	нет	нет	100	>100

Примечание. ¹ – этиловый спирт: ректификат, сырец, гидролизный, синтетический. ² – состав эфиральдегидной фракции (ЭАФ): спирт метиловый – до 1,5%, масла свиные – до 2%, эфиры – до 3%, спирт этиловый – остальное; ³ – состав комплексного растворителя 646: бутилацетат – 10%, этилцеллозоль – 8%, ацетон – 7%, бутиловый спирт – 10%, этиловый спирт – 15%, толуол – 50%; ⁴ – по толуолу ПДК = 50 мг/м³; ⁵ – по толуолу – III класс опасности; * – по ГОСТ 12.1.005-88.

Растворители – это, как правило, летучие жидкости органического происхождения с низкой температурой кипения. Основными требованиями к растворителям являются: хорошая растворяющая способность, отсутствие химического взаимодействия с компонентами раствора, оптимальная скорость испарения, минимальная токсичность и взрывоопасность.

Органические растворители, в основном, используют для изготовления КО на основе ГРЭС с величиной $M < 0,8$. При этом, осуществляя выбор того или иного материала РР, помимо всего прочего, ориентируются и на показатель скорости испарения РР. Это обусловлено тем, что скорость испарения во многом предопределяет режим сушки слоёв КО, длительность изготовления КО, а также прочностные свойства КО и размерную точность получаемых отливок.

С увеличением скорости сушки (увеличением скорости испарения РР) сокращается цикл изготовления КО и повышается её прочность. Тем не менее повышение скорости испарения РР при сушке способствует понижению температуры моделей, что приводит к короблению тонкостенных моделей и, соответственно, понижению точности получаемых отливок (см. главу 16).

Выбирая тот или иной РР, следует помнить, что РР должен обеспечить определенный временной период (около 30 с), когда к модельному блоку, непосредственно извлеченному из суспензии, при обсыпке будет ещё прилипать зернистый материал.

В связи с вышеизложенным можно констатировать, что используемый РР, с одной стороны, должен обладать умеренной скоростью испарения, позволяющей получить технологичную огнеупорную суспензию, с другой – РР должен обеспечить минимальную длительность сушки слоёв огнеупорного покрытия на модельном блоке.

Из числа РР, используемых для приготовления огнеупорных суспензий на основе ГРЭС, наибольшее распространение получили этиловый спирт и эфиральдегидная фракция, как наиболее технологичные, наименее токсичные и относительно недефицитные растворители. Из числа комплексных РР наиболее часто используют раствор ацетона с изопропиловым спиртом (например, в соотношении в растворе 48:52, по объёму). В случае использования быстроиспаряющегося РР (например, ацетона) в суспензию вводят антииспаритель (депрессор испарения) – высшие жирные спирты фракции $C_{18}-C_{20}$ [6; 153; 319].

Следует отметить, что, помимо снижения себестоимости литья, целью использования комплексных РР является и обеспечение требуемой скорости сушки слоёв КО. Используя данные, приведенные табл. 6.19, можно составлять различные комбинации растворов РР, задавшись определённой величиной относительной скорости испарения РР (от 1 до 12,8). Практика литья по выплавляемым моделям свидетельствует о том, что лучший уровень технологических свойств суспензий и прочности КО обеспечивают РР с относительной скоростью испарения РР от 3,5 до 5,5. В первом приближении, основываясь на правиле аддитивности, относительную скорость испарения комбинированного РР можно рассчитать по уравнению:

$$U_{\text{ит}} = \sum_{i=1}^n P_n \cdot U_n \quad (6.12)$$

где P_n – массовая доля n -го вещества в комплексном РР; U_n – относительная скорость испарения n -го вещества (см. табл. 6.19).

Например, смешав (доля по массе) 0,7 долей ацетона и 0,3 доли растворителя 646 получаем комплексный растворитель с относительной скоростью испарения:

$$U_{\text{ит}} = P_A \cdot U_A + P_{646} \cdot U_{646} = 0,7 \cdot 1 + 0,3 \cdot 12,8 = 4,54.$$

Разбавители – это жидкости, используемые для разбавления основного вещества (связующего) с целью понижения его концентрации в растворе. То есть, например, для жидкого стекла или кремнезёла дополнительно вводимая в них вода является разбавителем.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ). ПАВ – вещества, адсорбирующиеся на поверхности раздела двух фаз и образующие на этой поверхности повышенную концентрацию (адсорбционный слой), приводящую к резкому снижению поверхностного (межфазного) натяжения.

ПАВ используют для улучшения смачивания огнеупорной суспензией поверхности модельного блока, частиц ПМ жидкой составляющей суспензии, повышения проникающей способности суспензии и повышения её седиментационной устойчивости, понижения вязкости огнеупорной суспензии. То есть использование ПАВ в составе огнеупорных суспензий способствует как повышению чистоты поверхности отливок и их размерной точности (если ПАВ введено в огнеупорную суспензию для первого слоя КО), так и повышению прочности КО (если ПАВ введено в огнеупорную суспензию для второго и последующих слоёв КО). Повышение чистоты поверхности отливок с введением в огнеупорную суспензию ПАВ обусловлено как адгезионными силами, возникающими между поверхностью модели и огнеупорной суспензией, так и увеличением степени наполненности огнеупорной суспензии ПМ. Повышение прочности КО обусловлено увеличением степени наполненности огнеупорной суспензии ПМ.

Характеристикой смачивания жидкостью твёрдой поверхности является адгезия, измеряемая работой отрыва соприкасающихся фаз на единице поверхности контакта. Адгезия возрастает с уменьшением поверхностного натяжения на границе раздела фаз и увеличением смачиваемости, что достигается при введении в растворы ПАВ.

Мерой смачиваемости является величина краевого угла (Q), образованного поверхностью капли жидкости, лежащей на поверхности твёрдого тела, и поверхностью самого твёрдого тела. При этом, чем меньше величина Q (при $Q \leq 90$ град.), тем выше смачиваемость данной поверхности твёрдого тела данной жидкостью. Если $Q > 90$ град, то данная жидкость не смачивает данную поверхность твёрдого тела.

Молекула ПАВ представляет собой диполь, у которого на одном конце молекулы находится полярная гидрофильная группа с большим средством к воде, на другом – длинная неполярная углеводородная группа. С увеличением длины углеводородной части молекулы возрастает полярность диполя. Именно дипольное строение молекул ПАВ и предопределяет их самопроизвольную адсорбцию из растворов на поверхностях раздела фаз.

Например, в случае использования ПАВ в водных огнеупорных суспензиях гидрофильная часть молекулы ПАВ располагается в водной среде, а гидрофобная – на поверхностях модельного блока, частиц пылевидного огнеупорного наполнителя суспензии и зернистого обсыпочно-огнеупорного материала модельного блока.

Существуют различные типы ПАВ, классификация которых иллюстрируется схемой, представленной на рис. 6.11.

Неионогенные ПАВ при растворении не диссоциируют на ионы. У таких ПАВ гидрофильность обеспечивается за счет наличия гидроксильных групп и полигликолевых цепей различной длины.

В отличие от неионогенных, ионогенные ПАВ в растворах диссоциируют на анионы и катионы. Ионогенные ПАВ, распадающиеся на поверхностно-активный

анион (углеводородную цепочку) и на поверхность-неактивный металлический катион, называют анионоактивными. При диссоциации положительно заряженные ионы. Амфолитные ПАВ, в зависимости от pH среды в которую они попадают, проявляют, соответственно, кислотные или основные свойства, то есть становятся анион- или катионоактивными.

Из всех видов ПАВ катионоактивные наиболее токсичны, в связи с чем широкого применения не нашли.

Наиболее широко применяемыми ПАВ в огнеупорных суспензиях являются анионоактивные (контакт Петрова, сульфолон НП-3, сульфонат, метаупон, ДНС, дитолан, авироль и др.) и амфолитные (ОП-7, ОП-10 и др.).

Для каждого ПАВ существует его оптимальная концентрация в огнеупорной суспензии. При недостаточном содержании ПАВ огнеупорная суспензия полностью не покрывает поверхность модельного блока. Избыток ПАВ приводит к вспениванию суспензии, что, в конечном счете, отражается на качестве поверхности отливки. В случае появления пены (для кислых связующих) в суспензию вводят пеногаситель типа ПМС (0,05...0,4%) [206]. Для гашения пены в связующих, имеющих щелочной характер среды, рекомендуется применять этилсиликат в количестве до 0,1%, по массе.

То есть при определении оптимального количества ПАВ необходимо исходить из положения, согласно которому ПАВ не должно вспенивать огнеупорную суспензию, обеспечивая при этом необходимую суспензию, обеспечивая при этом необходимый уровень смачивания поверхности модельного блока.



Рис. 6.12. Зависимость краевого угла смачивания модельного состава КПСЦ от содержания ПАВ в жидкостекольной суспензии

С увеличением содержания ПАВ в суспензии смачиваемость модельного блока активно возрастает. При дальнейшем увеличении содержания ПАВ рост смачивания либо заметно ослабевает (для анионоактивных ПАВ) и интенсифицируется процесс пенообразования в суспензии, либо, без существенного понижения темпа роста смачиваемости (для неионогенных ПАВ), происходит пенообразование в суспензии. В качестве примера на рис. 6.12 представлена зависимость краевого угла смачивания жидкостекольной огнеупорной суспензией поверхности модельного состава КПСЦ, полученная автором.

Для расчёта максимально допустимого количества ПАВ в огнеупорной суспензии (концентрация ПАВ, выше которой перемешивание суспензии сопровождается образованием устойчивой пены) воспользуемся формулой [302].

$$\Gamma = \sum_{i=1}^n \Gamma_{N_i} \cdot S_{N_i} \cdot C_{N_i} \quad (6.13)$$

где Γ – количество ПАВ на 100 г твёрдых компонентов суспензии, г/100 г; Γ_{N_i} – коэффициент адсорбции Гиббса ПАВ на поверхности N-го твёрдого компонента су-

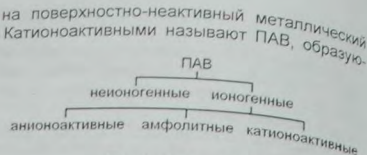


Рис. 6.11. Типы ПАВ

спензии, Γ_{N_i} – удельная поверхность N-го твёрдого компонента, введенного в суспензию, $\text{см}^2/\text{г}$; C_{N_i} – содержание N-го твёрдого компонента в общем количестве твёрдых веществ в суспензии, %.

Пример 6.1. Рассчитать максимально допустимое содержание ПАВ (контакта Петрова) в жидкостекольной суспензии, содержащей в качестве твёрдого наполнителя пылевидный кварц с величиной $S_{\text{кв}} = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ и величиной коэффициента адсорбции Гиббса на поверхности (для контакта Петрова и кварца пылевидного) $\Gamma_{\text{кв}} = 0,89 \cdot 10^{-6} \text{ г}$.

Поскольку пылевидный кварц в суспензии является единственным твёрдым компонентом, то $C_{\text{кв}} = 100\%$.

Расчёт величины Γ проводим по формуле (6.13), которая для данного случая примет вид:

$$\Gamma = \Gamma_{\text{кв}} \cdot S_{\text{кв}} \cdot C_{\text{кв}}$$

$$\Gamma = 0,89 \cdot 10^{-6} \cdot 3000 \cdot 100 = 0,267 \approx 0,27 \text{ г (на 100 г ПМ)},$$

или 0,27% от массы твёрдого наполнителя огнеупорной суспензии (по данным [153] в суспензию вводят ПАВ в количестве, не превышающем 0,22% от массы твёрдого наполнителя огнеупорной суспензии).

Пример 6.2. Рассчитать максимально допустимое содержание ПАВ (контакта Петрова) в жидкостекольной суспензии, если для приготовления суспензии использовали смесь, содержащую $C_{\text{кв1}} = 70\%$ (по массе) пылевидного кварца с $S_{\text{кв1}} = 3500 \text{ см}^2/\text{г}$ и $C_{\text{кв2}} = 30\%$ пылевидного кварца с $S_{\text{кв2}} = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Для данного случая формула (6.13) примет вид:

$$\Gamma = \Gamma_{\text{кв}} \cdot S_{\text{кв1}} \cdot C_{\text{кв1}} + \Gamma_{\text{кв}} \cdot S_{\text{кв2}} \cdot C_{\text{кв2}}$$

В результате расчёта получаем:

$$\Gamma = 0,89 \cdot 10^{-6} \cdot 3500 \cdot 70 + 0,89 \cdot 10^{-6} \cdot 3000 \cdot 30 = 0,30 \text{ г (на 100 г ПМ)}.$$

В ряде случаев в огнеупорной суспензии, приготовленной на основе органического растворителя, ПАВ не используют, поскольку органический растворитель (ацетон, спирт и т.п.) сам по себе обеспечивает требуемый уровень смачивания модельного блока огнеупорной суспензией.

В некоторых случаях для повышения адгезионных свойств огнеупорной суспензии по отношению к модельному составу модельные блоки, перед нанесением на них огнеупорного покрытия, обрабатывают в специальных растворах. Например, перед нанесением на модельный блок огнеупорной суспензии с кислотными свойствами блок на 10...15 мин погружают в 5%-ный водный раствор NaOH или окунают в 5%-ный спиртовой раствор триэтанолamina. Для повышения кроющей способности огнеупорных суспензий с основными свойствами (например, огнеупорных суспензий, приготовленных на основе жидкого стекла или кремнезоля) используют раствор, состоящий из (по массе) 20% скипидара и 80% изопропилового спирта или 5%-ный раствор канифоли в этиловом или изопропиловом спирте и др.

Добавки. Используя различные добавки в составе огнеупорной суспензии или КО, преследуют самые разнообразные цели. Например, добавки используют для улучшения реологических свойств суспензии, повышения физико-механических свойств КО, для сохранения свойств модельных составов, для поверхностного (внутриформенного) модифицирования металла в отливках и т.п.

В табл. 6.20 приведен перечень и назначение добавок, наиболее часто используемых для изготовления КО.

Таблица 6.20

Перечень и назначение добавок, используемых для изготовления КО

1	2	3	4
Назначение добавки	Добавка	Количество добавки, % (по массе)	Введение добавки
Повышение модуля жидкого стекла	HCl, H ₃ PO ₄ , хлористый аммоний и т.п.	По расчёту	В раствор связующего
Нейтрализация примесей в суспензии (для среды с кислотными свойствами)	HCl, H ₃ PO ₄ , H ₂ SO ₄ и т.п.	По расчёту	В суспензию
Катализатор гидролиза и поликонденсации (для среды с кислотными свойствами)	HCl, H ₃ PO ₄ , H ₂ SO ₄ , HNO ₃ и т.п.	По расчёту	В раствор связующего
Катализатор гидролиза и поликонденсации (для среды с основными свойствами)	NaOH, KOH, углекислый аммоний, пиперидин и т.п.	По расчёту	
Стабилизация связующих растворов на основе ЭТС (для среды с кислотными свойствами)	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	0,1 от массы связующего раствора	Обработка модельных блоков раскислением, последующая обработка нанесением огнеупорного покрытия
Смачивание суспензией модельных блоков	NaOH или KOH + вода	5–7 от массы воды	
	Изопропиловый спирт + скипидар	Соотношение 4:1	
	Изопропиловый спирт + касторовое масло или канифоль	Соотношение 20:1	
	ГРЭС на органическом растворителе	100	
Смачивание суспензией модельных блоков, повышение текучести суспензии	ПАВ: сульфолон, метапон, контакт Петрова, ОП-7, ОП-10 и др.	0,1–0,47 к массе наполнителя суспензии	В начале приготовления суспензии
Повышение пластических свойств КО	Огнеупорная глина	10–15 от массы ПМ суспензии	
Повышение прочности КО	Бой КО (размер частиц 1,5–3 мм), рубленая стальная проволока (Ø0,2×0,2 мм), чешуйчатая слюда и т.п.	Обсыпка слоёв КО	
Повышение прочности "сырых" КО (для суспензий с pH≤5)	Полиэтиленоксид	0,01–1,5 от массы ПМ суспензии	В начале приготовления суспензии
	Поливинилбутираль	0,08–1,95 от массы ПМ суспензии	
Повышение прочности прокалённых КО (для суспензий с pH≤5)	Борная кислота	3–4 от массы связующего раствора	В начале приготовления суспензии
	Криолит	2,4–4,5 от массы связующего раствора	
	Сернистое и хлористое железо	3–4 от массы связующего раствора	

Окончание табл. 6.20

1	2	3	4
Повышение термической стойкости и трещиностойкости КО	Порошки графита, мрамора, хризотилового асбеста и т.п.	Вместо ПМ суспензии	В начале приготовления суспензии
Повышение термической стойкости и прочности КО на основе белого электрокорунда, повышение чистоты поверхности отливок из никелевых сплавов и их размерной точности	Ультрадисперсный порошок окиси хрома (Cr ₂ O ₃)	4–6 от массы огнеупорной суспензии на основе ЭТС и дистен-силпиманита	
Повышение термической стойкости и прочности КО на основе белого электрокорунда для направленной кристаллизации никелевых сплавов	Порошок активного оксида алюминия (АСД-4)	5–15 от массы огнеупорной суспензии на основе ЭТС и электрокорунда	
Повышение седиментационной устойчивости огнеупорной суспензии и газопроницаемости КО	Спиртовой раствор поливинилбутираля, водные растворы метилцеллюлозы, поливинилового спирта, натрий-карбоксиметилцеллюлозы	0,08–0,5 от массы связующего раствора	В суспензию за 10–15 мин до окончания её приготовления
Повышение седиментационной устойчивости огнеупорной суспензии	Аэросил, белая сажа	До 5 от массы связующего раствора	В начале приготовления суспензии
Повышение механических свойств и свариваемости жаропрочных сплавов на никелевой основе с равноосной макроструктурой, заливаемых в вакууме (поверхностное модифицирование)	Закись-окись кобальта, алюминат кобальта	2,5 от массы суспензии на основе порошка белого электрокорунда (только для первого слоя КО)	В процессе приготовления суспензии
Понижение интенсивности испарения ацетона или спирта из суспензии, снижение хрупкости КО	Высшие жирные спирты	0,7–1,2 от массы суспензии	По окончании приготовления суспензии
Для разупрочнения в воде КО, заливаемых алюминиевыми сплавами	Мраморная крошка, хлористый натрий	40–60 от массы зернистого огнеупорного материала	В обсыпочный, зернистый огнеупорный материал
Предупреждение омыления модельных составов и их насыщения водой при выплавке модельного состава в воде	HCl, H ₃ PO ₄ , уксусная кислота, AlCl ₃ , Al ₂ (SO ₄) ₃ , CaCl ₂ , MgCl ₂ , контакт Петрова и т.п.	Кислот: 0,1–0,2 от объёма воды в ванне выплавки модельного состава. Солей: 12–25 от массы воды. ПАВ: до 0,01 от массы воды.	В воду ванны выплавки модельного состава из КО
Сокращение расхода ЭТС	Кремнезоль, фосфорная кислота, АХФ, АЖФ и т.п.	По расчёту	В суспензию, до начала её приготовления

6.3. Огнеупорные суспензии

Применительно к литью по выплавляемым моделям, суспензия — это дисперсная система, состоящая из твердых частиц (дисперсной фазы), пространственно равномерно распределенных в жидкости (дисперсионной среде), которая в свою очередь, состоит из связующего вещества и РР. Помимо указанных компонентов, суспензии могут содержать вспомогательные компоненты, обеспечивающие получение суспензий с заданным комплексом свойств (например, обеспечивающие или разжижающие, ПАВ, левогаситель и пр.). В качестве технологических добавок влияющих не только на свойства суспензии, но и КО, суспензия может дополнительно содержать выгорающие добавки (древесную муку, угольную или коксовую пыль, сеченную солому и т.п.), а также глицерин, борную кислоту, сернистый алюминий и т.д.

Суспензии относятся к грубодисперсным неструктурированным системам. Размер твердых частиц (дисперсной фазы) грубодисперсных систем составляет более 10^{-4} см. Неструктурированные суспензии седиментационно неустойчивы. В таких суспензиях частицы твердого наполнителя оседают под действием силы тяжести за относительно короткий период времени.

Огнеупорные суспензии, используемые в литье по выплавляемым моделям классифицируют по следующим признакам:

- по характеру отверждения: самовысыхающие, содержащие летучий РР и образующие пленки связующего вещества при естественном испарении РР и химической твердеющие, упрочнение которых происходит в результате прохождения химической реакции;
- по типу применяемого РР: органические (спирт, ацетон, ЭАФ, растворители 646 и пр.) и неорганические (вода);
- по величине водородного показателя жидкой составляющей огнеупорной суспензии: кислые ($\text{pH} < 7$), нейтральные ($\text{pH} = 7$), щелочные ($\text{pH} > 7$);
- по материалу связующего вещества: этилсиликатные, жидкостекольные, кремнезольные и т.п.;
- по способу подготовки связующего вещества к применению: без подготовки (готовое связующее), разбавлением (жидкое стекло, кремнезоль, АХФ, АЖФ и др.);
- по порядковому номеру нанесения на модельный блок при изготовлении КО на первый (лицевой) слой, на второй и последующие слои;
- по функциональному назначению: для лицевого слоя, для второго и последующих слоев, для буферного слоя, для закрепительного слоя;
- по живучести суспензии (срока пригодности использования огнеупорной суспензии с момента завершения её приготовления):
 - 1 — очень малая живучесть — менее суток (например, суспензия на основе окисоли);
 - 2 — живучесть малой продолжительности — от суток до трёх (например, суспензия на основе связующего АРК-1, ГРЭС с $M=0,85 \dots 1,2$);
 - 3 — живучесть средней продолжительности — от трёх до десяти дней (например, суспензия на основе ГРЭС с $M=0,56 \dots 0,7$);
 - 4 — длительная живучесть — от 10 дней до одного месяца (например, суспензия на основе ГРЭС с $M=0,2 \dots 0,35$);
 - 5 — очень длительная живучесть — от одного месяца до шести месяцев (например, суспензия на основе кремнезоля);
 - 6 — неограниченная живучесть — более шести месяцев (например, суспензия на основе жидкого стекла, АХФ, АЖФ и т.п.).

Суспензии, приготовленные на основе гидролизованного раствора этилсиликата, также классифицируют по величине мольного соотношения ($M = \text{H}_2\text{O}/\text{OR}$) на суспензии с $M=0,22 \dots 0,30$, $M=0,56 \dots 0,70$ и $M=0,85 \dots 1,2$.

Приготовление огнеупорных суспензий, как правило, проводят в механических мешалках. При этом мешалки используют как для приготовления огнеупорной суспензии, так и для окунания в них модельных блоков.

По конструктивным признакам механические мешалки, используемые для приготовления и использования огнеупорной суспензии, можно объединить в две группы — мешалки со стационарным баком (см. рис. 6.13) и бак, вращающимся вокруг вертикальной оси (см. рис. 6.14).

Мешалки механические со стационарным баком (см. рис. 6.13), состоят из бака 1, выполненного из листовой нержавеющей стали и установленного на опоре с поворотным механизмом. Внутри бака располагается крыльчатка 6, сообщаемая с двигателем 3 (частота вращения крыльчатки 1000...1500 об/мин, 2800 об/мин или 4000...6000 об/мин). Для охлаждения связующего раствора или огнеупорной суспензии суспензия 5, приготавливаемых на основе этилсиликата, бак мешалки оснащён рубашкой принудительного охлаждения 2, внутри которой циркулирует вода 4.

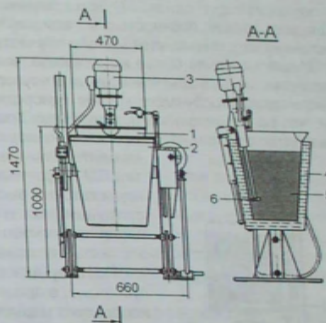


Рис. 6.13. Схема мешалки с крыльчаткой

Мешалки, у которых частота вращения крыльчатки составляет 1000...1500 об/мин используют только для приготовления суспензий на основе готовых связующих, требующих элементарного перемешивания исходных компонентов. К числу таких суспензий относятся огнеупорные суспензии на основе жидкого стекла, кремнезоля, АХФ, этилсиликата с $M=0,22 \dots 0,30$ (связующие типа ГС) и пр.

Мешалки с частотой вращения крыльчатки 2800 об/мин ориентированы не только на приготовление суспензий на основе готовых связующих, но и на проведение гидролиза этилсиликата с мольным соотношением $M=0,2 \dots 0,7$. Поскольку процесс гидролиза этилсиликата сопровождается выделением теплоты, то для увеличения живучести ГРЭС, а также обеспечения требуемого уровня и стабильности свойств приготовленной суспензии, такие мешалки оснащены системой принудительного охлаждения бака.

Как правило, на отечественных предприятиях, в условиях мелкосерийного и серийного производства литья, для приготовления огнеупорных суспензий используют установки (смесители, гидролизёры) как собственного, так и промышленного изготовления. В частности, к комплексу оборудования, предназначенного для приготовления, хранения и использования огнеупорной суспензии, относится установка мод. 63431, агрегат мод. 662А и др. (см. Приложение 3).

Гидролиз этилсиликата большим количеством воды ($M=0,85 \dots 1,2$) проводят только в мешалке с частотой вращения крыльчатки не менее 4000 об/мин, оснащённой системой принудительного водяного охлаждения бака.

Необходимо обеспечить обеспечение большой частоты вращения крыльчатки мешалки в данном случае для проведения гидролиза этилсиликата, обусловлена тем, что вода и этилсиликат между собой не смешиваются. Поскольку скорость и направление прохождения реакции гидролиза этилсиликата в отсутствие растворителя и направления реакции гидролиза, то большая частота вращения крыльчатки от скорости прохождения реакции гидролиза и, соответственно, повышению площади поверхности прохождения реакции и качества гидролизованного этилсиликата.

При частоте вращения мешалки 2600 об/мин и менее гидролиз этилсиликата также происходит, однако CO_2 изготовленные с использованием такого суспензия обладают низкой прочностью и термостойкостью, а приготовленная суспензия характеризуется малой живучестью и нестабильными свойствами.

Мешалки, оснащенные крыльчаткой, незаменимы в приготовлении огнеупорной суспензии, однако при нанесении огнеупорной суспензии на модельные блоки обеспечивают требуемого уровня однородности используемой суспензии, тем, что во время окунания модельных блоков, во избежание их поломки, крыльчатки отключают и, соответственно, суспензия не перемешивается. Делать это момента начинается одностороннее движение частиц на дно бака, приводит ПМ в суспензии (оседание частиц на дно бака). При суспензии, находясь определенное время без перемешивания, вязкость суспензии понижается настолько, что это сказывается на качестве получаемых KO и отливок.

Поэтому для обеспечения однородности огнеупорной суспензии, в процессе окунания в неё модельного блока, используют мешалки с непрерывно вращающимся баком (см. рис. 6.14, где обозначены: 1 — бак; 2 — огнеупорная суспензия; 3 — крепёжный лопаток; 4 — вертикальная лопатка; 5 — горизонтальная лопатка; 6 — электродвигатель; 7 — понижающий редуктор).

Мешалку, схема которой представлена на рис. 6.14, в случае использования огнеупорной суспензии, приготовленной на основе ГРЭС, применяют только для окунания модельных блоков в огнеупорную суспензию, а саму суспензию готовят в обычном смешивании исходных компонентов, такую суспензию готовят в мешалках любого типа.

Отличительной конструктивной особенностью мешалок с вращающимся баком от мешалок со стационарным баком является то, что в данных мешалках (см. рис. 6.14) перемешивание огнеупорной суспензии 2 осуществляется непрерывно, за счёт постоянного вращения бака 1 и жёстко закреплённых на станине установки 3 лопаток 4 и 5. Непрерывное вращение бака с огнеупорной суспензией вокруг вертикальной оси (бак мешалки вращается круглосуточно с частотой 12...20 об/мин), при наличии в нём неподвижных лопаток, обеспечивает непрерывное перемешивание и, соответственно, высокую однородность используемой огнеупорной суспензии. По понятным причинам, использование мешалок данной конструкции позволяет использовать даже огнеупорные суспензии с невысокой седиментационной устойчивостью, получая KO со стабильными свойствами.

Помимо вышеописанных конструкций мешалок, для проведения гидролиза этилсиликата, используют и другие типы установок. В частности, В.З. Бредис,

В.Б. Соболев и В.В. Бабкин для ускорения процесса гидролиза этилсиликата использовали гидродинамический акустический аппарат. Н.В. Катышева, И.Б. Сокол и В.И. Беляев с этой же целью проводили гидролиз этилсиликата в аппарате с вихревым слоем, что позволило сократить длительность гидролиза до 1,5...5 с. Помимо этого, для ускорения процесса проведения гидролиза этилсиликата используют установки, в которых перемешивание раствора осуществляют путём барботаж суспензии воздухом, кислородом или инертным газом и т.п. [76; 214; 317 и др.].

Приготовленный раствор связующего вещества или огнеупорную суспензию после определённой выдержки (длительность выдержки от 1 до 24 ч с момента окончания приготовления) используют, соответственно, для приготовления огнеупорной суспензии или изготовления KO , либо оставляют на хранение.

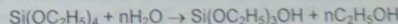
На отечественных предприятиях кратковременное хранение приготовленного связующего раствора или огнеупорной суспензии осуществляют непосредственно в установке или агрегате, в котором их приготавливали, не отключая при этом в летнее время года охлаждение. Для длительного хранения приготовленной огнеупорной суспензии используют специальные агрегаты (см. Приложение 3).

Суспензии на основе этилсиликата. Связующие и технологические свойства гидролизованного этилсиликата, при всех прочих равных условиях, зависят от исходного состава этилсиликата и количества воды, участвующей в гидролизе. Именно эти параметры приготавливаемой суспензии и определяют состав и структуру полисилоксанов — продуктов реакции гидролиза. В свою очередь, структура полисилоксанов (степень разветвлённости молекул) определяет технологические свойства растворов гидролизованных этилсиликатов (живучесть, вязкость), а также предопределяет способ сушки огнеупорной суспензии и свойства KO . Условное содержание двуокиси кремния в связующем растворе предопределяет, в основном, прочностные свойства KO .

Гидролизованный этилсиликат является смесью неорганических полимеров, находящихся на различных стадиях гидролитической поликонденсации, содержащих не только различное количество этоксильных ($-\text{OC}_2\text{H}_5$) и гидроксильных ($-\text{OH}$) групп, но и, по сравнению с исходным состоянием, повышенное количество силоксанового кислорода. Именно наличие функциональных групп в гидролизованном этилсиликате обеспечивает стабильность полученного раствора, а изменением мольного отношения ($M=\text{H}_2\text{O}/\text{OR}$) и содержанием кислого катализатора реакции гидролиза (HCl , H_3PO_4 или HNO_3) можно управлять процессом гидролиза и получать стабильные гидролизованные растворы с заданным уровнем свойств.

С увеличением величины M возрастает степень гидролиза и, соответственно, уменьшается количество этоксильных групп. В то же время увеличение степени гидролиза приводит к более ранней дестабилизации гидролизованного раствора этилсиликата, что выражается в сокращении длительности хранения приготовленного раствора. Наибольшей стабильностью обладают растворы с величиной $M=0,2...0,35$, наименьшая стабильность наблюдается у растворов с величиной $M \geq 0,85$.

Гидролиз этилсиликата сопровождается замещением этоксильных групп в эфире кремниевой кислоты группами гидроксильными. В общем случае реакция гидролиза имеет вид:



Чем больше гидроксильных групп заместят группы этоксильные, тем в большей степени продукты гидролиза приближены по составу к ортокремниевой кислоте и тем больше образуется этилового спирта. В случае полного замещения этоксиль-

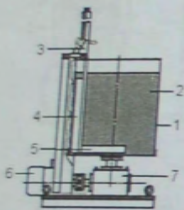
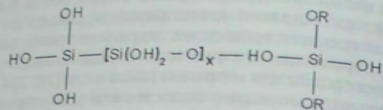
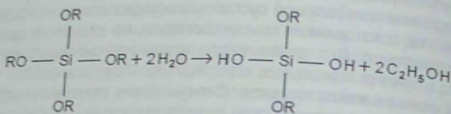


Рис. 6.14. Схема мешалки с вращающимся баком

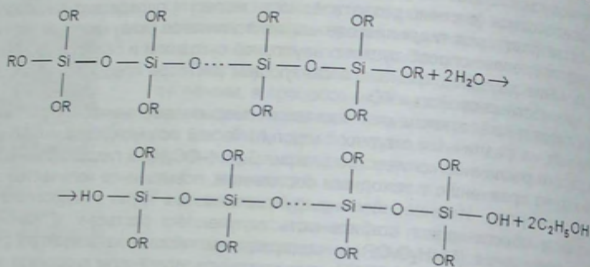
ных групп образует ортокремниевая кислота H_2SiO_4 , которая, собственно, и является связующим веществом со строением вида:



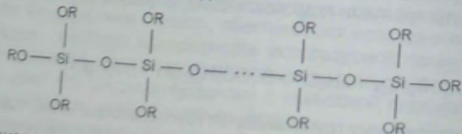
При гидролизе мономера ортокремниевая кислота образуется в результате прохождения реакции:



При гидролизе пентамера ортокремниевая кислота образуется в результате прохождения реакции:



В процессе сушки слоёв огнеупорного покрытия на модельном блоке происходит поликонденсация молекул гидролизованного мономера и пентамера с образованием молекул полиэтоксисиланов пространственной структуры и выделением воды. Выделившаяся в процессе химической реакции вода может участвовать в гидролизе любой из оставшихся этоксильных групп. При этом необходимым условием прохождения такой реакции является наличие у молекул не менее двух реакционно-способных групп. В случае прохождения гидролиза происходит процесс последующей поликонденсации и т.д. В результате поликонденсации структура молекул приобретает линейное строение вида:



Из вышеизложенного следует, что гидролиз этилсиликатов проходит при любом количестве воды. В зависимости от отношения количества воды, затраченной на

гидролиз, к количеству этоксильных групп в исходном этилсиликате, ГРЭС могут представлять собой однородные растворы высокополимеров (при $M=0,2 \dots 0,35$), смесь коллоидных растворов кремниевой кислоты и однородных растворов полимеров (при $M=0,56 \dots 0,70$) или быть коллоидным раствором кремниевой кислоты (при $M \geq 0,85$).

Процесс гидролиза этилсиликата сопровождается определённым повышением температуры раствора. При этом, чем выше максимальная температура раствора и чем быстрее она достигается, тем интенсивнее проходит гидролиз этилсиликата в растворе.

Продолжительностью процесса гидролиза считают время перемешивания компонентов раствора, в течение которого его температура повышается до максимального значения. Соответственно, скорость гидролиза – отношение максимальной температуры раствора ко времени ее достижения.

Регулируя температуру реакции гидролиза, например, путём количества вводимой в этилсиликат воды, управляют структурой получаемого связующего – полисилоксана. Поэтому, при всех прочих равных условиях, из числа факторов, определяющих свойства ГРЭС и, соответственно, свойства получаемых из них КО, наиболее важным является молярное соотношение – M . На основании этого, для упрощения описания, в соответствующей технической литературе приняты следующие обозначения ГРЭС: ОРГ-1 называют ГРЭС, полученные при $M=0,2 \dots 0,35$, ОРГ-2 называют ГРЭС, полученные при $M=0,56 \dots 0,70$, ОРГ-3 называют ГРЭС, полученные при $M=0,85 \dots 1,2$.

ОРГ-1. При соотношении $M=0,2 \dots 0,35$ происходит неполный гидролиз этилсиликата. Огнеупорная суспензия, приготовленная на таком связующем, на воздухе практически не высыхает, а нанесение второго слоя огнеупорного покрытия на модельный блок приводит к набуханию и отслаиванию от поверхности модельного блока первого слоя.

Для завершения процессов поликонденсации сушку слоёв огнеупорного покрытия с $M=0,2 \dots 0,35$ проводят в среде влажного аммиака. При этом сам аммиак выполняет функции катализатора реакции гидролиза этилсиликата в слое огнеупорного покрытия на модельном блоке, а вода (влаги), содержащаяся в парах аммиака, принимает непосредственное участие в данной реакции.

КО, высушенные во влажном аммиаке, обладают высокой прочностью и умеренной пластичностью. Лицевой слой КО, полученной при вышеописанных условиях, практически не имеет поверхностных микротрещин, характеризуется высокой чистотой поверхности, а сам материал КО характеризуется высокой плотностью и трещиностойчивостью.

РР для проведения гидролиза этилсиликата, в данном случае, являются низкомолекулярные ПАВ (спирт этиловый или изопропиловый, ЭАФ, ацетон). Вязкость этих растворов практически не изменяется в течение года.

Суспензии, приготовленные на органических РР, жидкоподвижны и хорошо смачивают поверхность модельных блоков, ложась на неё равномерным слоем. Живучесть огнеупорной суспензии, приготовленной на основе ГРЭС типа ОРГ-1, достигает 10...12 дней.

Возможность длительного хранения ГРЭС данного типа позволила предприятиям-изготовителям этилсиликата наладить выпуск готовых к использованию связующих растворов (ГС). В состав ГС входит ГРЭС ($M=0,2 \dots 0,35$) и органический РР, например, этиловый или изопропиловый спирт, эфиральдегидная фракция и т.п. Содержание условной двуокиси кремния в ГС находится в пределах от 16 до 22% (по массе). Наиболее известными являются ГС марок

ГС-203 – связующее на основе ЭТС-40 в этиловом спирте с содержанием $\text{SiO}_2 = 16 \dots 20\%$ (Россия);
 ГС-123 – связующее на основе ЭТС-40 в этиловом спирте с содержанием $\text{SiO}_2 = 12 \dots 16\%$ (Россия);
 ГС-121 – связующее на основе ЭТС-40 в изопропиловом спирте с содержанием $\text{SiO}_2 = 12 \dots 16\%$ (Россия);
 ГСК-121И – связующее на основе этилсиликата-конденсата с содержанием $\text{SiO}_2 = 12 \dots 16\%$ (Россия);
 ЭТОСИЛ – связующее на основе ЭТС-40 в этиловом спирте с содержанием $\text{SiO}_2 = 18 \dots 20\%$ (Украина).

В западной Европе используют ГС марок Silester AR, Silester XAR, Silester X15 фирмы Monsanto (Англия), VP 2253, VP 2257 и VP 2259 фирмы Wacker (Германия) и др. с содержанием условного SiO_2 от 15% до 20,5%.

Свойства огнеупорных суспензий и КО, приготовленных на основе ГС, характеризуются высокой стабильностью свойств и технологичностью, что предопределяет стабильность качества получаемых отливок.

Связующие ГС-203 и ГС-123 предназначены для изготовления КО из высококачественного ПМ, в которых получают отливки с высоким уровнем требований к качеству поверхности и точности. Связующие ГС-121И и ГСК-121И предназначены для изготовления КО из менее качественного минерального сырья (ПМ), в которых получают отливки общемашиностроительного назначения [120].

Следует отметить, что при использовании ГС длительность изготовления и качество получаемых КО зависит от достаточно большого числа параметров. В частности, присутствие минеральной кислоты (соляной, серной и т.п.) в огнеупорной суспензии, приготовленной на основе ГС-203, способствует повышению вязучих свойств раствора и полноте отверждения КО при сушке, а также позволяет сократить длительность сушки слоев КО. Помимо этого, на длительность сушки слоев огнеупорного покрытия на модельном блоке, приготовленного на основе связующего ГС-203, заметное влияние оказывает природа используемого зернистого огнеупорного материала и толщина КО, в целом, о чём свидетельствуют данные, приведенные в табл. 6.21 [92], где длительность сушки представлена значениями длительности достижения образцами постоянной массы в слоях (τ).

Таблица 6.21
 Длительность сушки слоев огнеупорного покрытия со связующим ГС-203

Обыкновенный зернистый материал	τ , мин		
	Слой №1	Слой №2	Слой №3
Электрокорунд	70/55	135/110	180/145
Кварц кристаллический	70/65	115/85	145/100
Кварц плавный (аморфный)	140/95	180/150	240/210

Примечание. В числителе – для связующего ГС-203, в знаменателе – для связующего ГС-203 с добавлением 0,3% соляной кислоты.

Анализ данных, приведенных в табл. 6.21, свидетельствует об увеличении длительности сушки каждого последующего слоя КО по сравнению с предыдущим и о некотором сокращении длительности сушки слоев при введении в огнеупорную суспензию 0,3% соляной кислоты.

Использование принудительного обдува КО (при скорости воздушного потока 1...2 м/с) позволяет сократить время сушки каждого слоя КО в 1,5...2 раза. При этом в условиях воздушно-аммиачной сушки КО, изготовленные на основе электрокорунда и кристаллического кварца, достигают максимальной прочности только при полном удалении растворителя из КО, а КО, изготовленные на основе плавного

кварца, достигают максимальной прочности в непрокаленном состоянии при содержании 1% остаточной влажности.

Зависимость предела прочности при статическом изгибе непрокаленных КО, изготовленных на основе ГС-203 и различных обсыпочных материалов, от их влагосодержания (Вл_{КО}) в процессе сушки представлена на рис. 6.15, где сплошные линии – суспензии на основе ГС-203, штриховые – суспензии на основе ГС-203 с добавлением до 0,3% HCl в растворе.

Стабильность качества получаемых отливок напрямую зависит от стабильности качества КО и, соответственно, от стабильности качества используемых огнеупорных суспензий. В свою очередь, стабильность свойств огнеупорных суспензий находится в прямой зависимости от ее «живучести» – показателя стабильности свойств.

Живучесть суспензий, приготовленных на основе ГРЭС, существенно зависит от величины М. Чем меньше М, тем большей живучестью и большими связующими свойствами обладает суспензия. Соответственно, чем больше живучесть суспензии и больше ее вяжущие свойства, тем стабильнее качество КО и выше их прочность.

Зависимость предела прочности КО от величины М и длительности хранения огнеупорной суспензии представлена на рис. 6.16 [110].

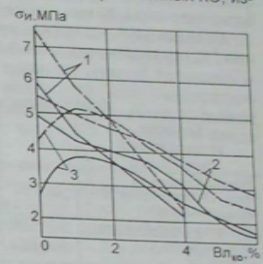


Рис. 6.15. Зависимость прочности непрокаленных КО, изготовленных на основе ГС-203, от их влагосодержания: 1 – электрокорунд, 2 – кварц кристаллический, 3 – кварц плавный

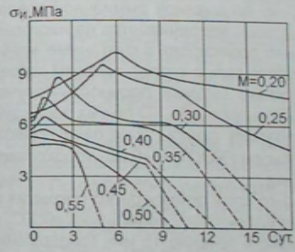


Рис. 6.16. Зависимость предела прочности КО от величины М и длительности хранения суспензии

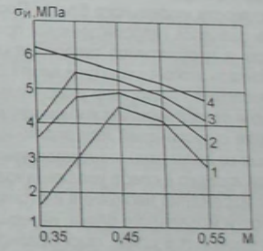


Рис. 6.17. Зависимость предела прочности КО от величины М и способа сушки слоев КО

Анализ хода зависимостей, представленных на рис. 6.16, показывает, что прочность КО, изготовленных на основе ГРЭС, изменяется во времени и понижается с увеличением величины М.

Прочность КО, изготовленной на связующем типа ГС, зависит не только от величины М но и от способа сушки. На рис. 6.17 представлены зависимости предела прочности непрокаленной КО от величины М для различных режимов сушки, где

обозначены: 1 – сушка всех слоёв КО по 4 ч; 2 – сушка всех, кроме последнего, слоёв КО по 4 ч, последний слой – 12 ч; 3 – сушка всех слоёв КО по 6 ч; 4 – каждый слой КО высушен по режиму: 1 ч – в условиях конвективной сушки, 30 мин – обработка амиаком, 30 мин – проветривание.

Проведённые исследования позволили авторам [110] разработать классификацию ГС, приведенную в табл. 6.22.

Классификация готовых связующих типа ГС

Таблица 6.22

Характер затвердевания связующего	M	Время высыхания плёнки связующего, ч	Рекомендуемый способ сушки	σ , МПа
Невысыхающее на воздухе (отверждаются каталитически)	До 0,35	Более 4	Воздушно-амиачная, вакуумно-амиачная	Более 8,0
Длительно высыхающие	0,35–0,4	1,3–3,5	То же	6,5–8,0
Высыхающие на воздухе	Более 0,4	Менее 1,3	Воздушная, воздушно-амиачная	Менее 6,0

Следует обратить внимание на то, что в табл. 6.22 рекомендуемый способ сушки слоёв огнеупорного покрытия из суспензий, приготовленных на основе ГРЭС с $M < 0,35$, предусматривает обязательное использование амиака. Это связано с тем, что гидrolитическая конденсация данных ГРЭС протекает только в атмосфере с повышенной влажностью, где катализатором прохождения процесса выступает амиак. Сушка таких связующих в среде сухого воздуха, во-первых, требует достаточно длительного времени, во-вторых, процесс протекает с образованием растворимых полизотоксисилоанов. В этом случае даже полностью высушенный слой покрытия на модельном блоке при контакте с суспензией набухает и отслаивается от поверхности модельного блока. Проводя сушку во влажной амиачной среде, скорость процесса гидrolитической поликонденсации увеличивается на несколько порядков, а необратимое твердение связующего происходит в считанные минуты. В результате этого в структуре слоя КО образуется гель с упорядоченным строением. Образование такого геля обеспечивает не только высокую прочность получаемых КО, но и предотвращает набухание ранее высохших слоёв КО при их последующем контакте с суспензией или водой. Именно поэтому сушку слоёв огнеупорного покрытия из суспензий, приготовленных на основе ГРЭС с $M < 0,35$, необходимо проводить только в среде увлажнённого амиака.

Во избежание набухания и отслаивания 1-го слоя огнеупорного покрытия от поверхности модельного блока, на некоторых предприятиях, использующих ГС, сушку слоёв проводят в среде газообразного амиака в течение 15 мин (содержание амиака в воздухе – 15%, по объёму), после чего блок проветривают, выдерживая его в сушильном шкафу в течение 15 мин и на воздухе в течение 30...45 мин (относительная влажность воздуха – 50...60%). При этом, во избежание отслоения первого слоя, после его сушки блок на 5...10 мин погружают в ГС, и после извлечения блока наносят второй слой огнеупорного покрытия, предварительно окунув блок в соответствующую огнеупорную суспензию, приготовленную на основе ГС. Пропитке первого слоя ГС подвергают лишь те блоки, у которых отсутствуют видимые трещины на первом слое огнеупорного покрытия.

Следует отметить, что основными параметрами, определяющими свойства получаемых КО на основе ГС, а также технологичность огнеупорных суспензий,готавливаемых на основе ГС, являются содержание соляной кислоты в связующем, время гелеобразования и вязкость связующего. Причём требования к данным

параметрам, как правило, могут изменяться сезонно, в зависимости от температуры и влажности воздуха в цехе.

ОРГ-2. При $M=0,56...0,7$ процесс гидролиза этилсиликата идёт с образованием полизотоксисилоанов и золь, поэтому в результате прохождения реакции гидролиза связующее представляет собой смесь двух растворов, а именно: раствора полизотоксисилоанов и золь двуокиси кремния. Для твердения такого связующего в слое огнеупорного покрытия на модельном блоке сушку слоёв КО следует проводить в среде влажного воздуха (относительная влажность воздуха 80...95%, температура 22...25°C). В этих условиях процесс твердения связующего завершается в течение 3...4 ч. Для ускорения процесса твердения сушку слоёв КО проводят в среде увлажнённого амиака.

Гидролиз этилсиликата с $M=0,56...0,7$ проводят непосредственно в литейном цехе, используя в качестве РР жидкости органического происхождения. При этом гидролиз этилсиликата проводят либо без ПМ (раздельный способ гидролиза), либо с ПМ в растворе (совмещённый способ гидролиза). При совмещённом способе гидролиза приготовленную огнеупорную суспензию, спустя 1...2 ч после приготовления, используют для изготовления слоёв КО. При раздельном способе гидролиза приготовленную огнеупорную суспензию используют не ранее чем через 24 ч с момента окончания гидролиза этилсиликата.

Способ проведения гидролиза этилсиликата с $M=0,56...0,7$ предопределяет живучесть приготовленных растворов. Живучесть огнеупорной суспензии, приготовленной совмещённым способом, достигает 6...7 суток. Срок хранения ГРЭС, приготовленного раздельным способом, зависит от содержания в нём двуокиси кремния и соляной кислоты и, как правило, не превышает 3...6 месяцев при соответствующих условиях хранения. При этом, с увеличением содержания двуокиси кремния и соляной кислоты в гидролизованном растворе, его живучесть уменьшается, а прочность получаемых из него КО – возрастает.

КО, изготовленные на связующих типа ОРГ-2, обладают достаточно высокой прочностью, умеренной газопроницаемостью и трещиностойчивостью, хотя и обеспечивают меньшую чистоту поверхности лицевого слоя КО по сравнению с лицевым слоем КО, изготовленным на основе ГРЭС с величиной $M=0,2...0,35$.

Сушка ГРЭС, имеющего $M=0,56...0,7$, приводит к его необратимому твердению. Для завершения процесса гидролиза в связующем с величиной $M=0,56...0,7$ сушку слоёв огнеупорного покрытия КО ведут в среде влажного воздуха (при относительной влажности воздуха не менее 80%) при комнатной температуре.

ОРГ-3. При $M \geq 0,85$ в результате гидролиза этилсиликата образуется силикагель. В реальных условиях при $M \geq 0,85$ степень гидролиза этилсиликата не достигает 100%, поэтому в таких растворах всегда присутствует незначительная доля зольных групп. Тем не менее свойства этих растворов предопределяет силикагель, существующий в растворе в виде сферодических агрегатов.

Свойства растворов ГРЭС с $M=0,85...1,2$ существенно зависят от их агрегативной устойчивости. Для этих растворов характерно быстрое повышение вязкости при хранении и, следовательно, низкая живучесть как самих растворов, так и огнеупорных суспензий, приготовленных на их основе.

Слой огнеупорного покрытия КО, выполненный на основе гидролизованного раствора этилсиликата с $M \geq 0,85$, сушат в среде сухого воздуха (относительная влажность воздуха менее 60%). По окончании сушки связующее твердеет необратимо, а КО характеризуется низкой прочностью и невысокой чистотой поверхности лицевого слоя. В структуре КО наблюдается большое количество крупных микротрещин, которые придают ей относительно высокую газопроницаемость.

Из вышеизложенного следует, что в зависимости от величины M физико-технологические свойства ГРЭС, огнеупорных суспензий и КО могут изменяться в достаточно широких пределах. При этом от величины M также зависит состояние модельного состава, контактировавшего с тем или иным ГРЭС.

В табл. 6.23 приведены сравнительные качественные характеристики свойств ГРЭС, суспензий, КО и модельных составов в зависимости от величины M .

Таблица 6.23
Влияние M на свойства ГРЭС, суспензии, КО и модельного состава

Свойства гидролизированных растворов этилсиликата, огнеупорных суспензий, КО и модельных составов	M		
	0,2-0,35	0,56-0,7	0,85-1,2
Вязкость гидролизованного раствора этилсиликата	с*	-	-
Время огевливания гидролизованного раствора этилсиликата	+	-	-
Стабильность свойств огнеупорной суспензии	++	+с	--
Седиментационная устойчивость огнеупорной суспензии	-	с	-
Живучесть огнеупорной суспензии	++	+	+
Смачиваемость модели огнеупорной суспензией	+	+	-
Чистота поверхности лицевого слоя КО	++	+	-
Основная осылаемость	--	-	-
Прочность КО: до прокаливания	++	+	++
Прочность КО: при температуре прокаливания	+	-	-
Трещиностойкость КО	с	с	-
Газопроницаемость прокалённых КО	-	с	-
Увеличение зольности возврата модельного состава (для модельных составов на основе парафина, церезина, минерального воска)	-	+	++
Уменьшение показателя кислотного числа возврата модельного состава (для модельных составов на основе парафина, церезина, минерального воска)	с	-	--

Примечание. * (++) очень высокая (высокая), (+) большая (высокая), (с) средняя, (-) низкая, (--) очень низкая.

При выборе состава ГРЭС для конкретных условий производства и контроля качества проведения гидролиза этилсиликата авторы работы [56] предлагают использовать показатель времени гелеобразования связующего, который позволяет оценить не только правильность проведения гидролиза, но и прогнозировать прочность КО.

Кинематическая вязкость связующего раствора, усадка и время гелеобразования ГРЭС зависят от величины M . Данные зависимости, по результатам исследований [56], представлены на рис. 6.18, где время гелеобразования полученных растворов определяют через 1 ч (зависимость 3) и 24 ч (зависимость 4) после окончания их приготовления.

Анализ хода кривых, представленных на рис. 6.18, показывает, что во всем исследованном диапазоне изменения M значительные различия во времени гелеобразования через 1 и 24 ч наблюдаются только у ГРЭС, имеющих значение M в пределах от $M=0,2$ до $M=0,6$. Это свидетельствует о незавершенности процессов поликонденсации в данных растворах и необходимости их дополнительной выдержки с целью повышения вязких свойств этих растворов. Растворы, имеющие значения M , превышающие стехиометрическую норму ($M>0,6$), стабилизируются уже через час после окончания их приготовления (гидролиза) и, следовательно, через 1 ч по окончании гидролиза могут быть использованы для приготовления огнеупорной суспензии.

С увеличением M объемная усадка связующего при сушке уменьшается, и особенно интенсивно в интервале от $M=0,2$ до $M=0,6$. В то же время кинематиче-

ская вязкость растворов монотонно увеличивается с повышением M от $M=0,2$ до $M=1,0$.

Зависимость предела прочности "сырых" (непрокалённых) КО при статическом изгибе от времени гелеобразования связующего представлена на рис. 6.19. Анализ зависимости, приведенной на рис. 6.19, свидетельствует о том, что с увеличением длительности процесса гелеобразования гидролизованного этилсиликата прочность "сырых" КО возрастает. Поскольку время гелеобразования находится в обратной пропорциональной зависимости от M , то можно констатировать, что с увеличением величины M прочность "сырых" КО понижается.

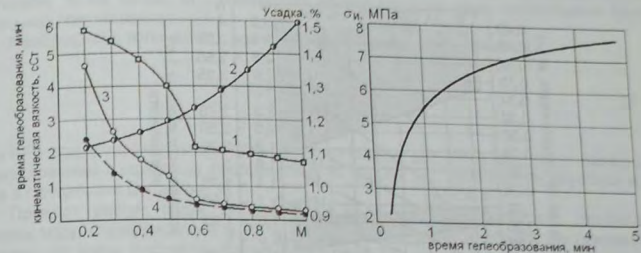


Рис. 6.18. Зависимость усадки связующих растворов (1), времени гелеобразования (3, 4) и кинематической вязкости (2) от M

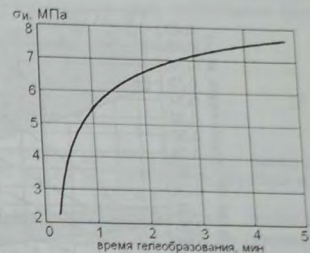


Рис. 6.19. Зависимость предела прочности КО от времени гелеобразования гидролизованного этилсиликата

Таким образом, на качество КО, изготовленных на основе ГРЭС, решающую роль оказывает ограниченный ряд параметров, а именно: величина M , относительное содержание в растворе соляной кислоты и условия сушки слоев огнеупорного покрытия КО. В связи с этим, для получения КО со стабильными свойствами, необходимо соблюдать соответствующие условия сушки слоев КО, а также проводить расчёт содержания жидких компонентов для приготовления огнеупорной суспензии и строго придерживаться результатов расчёта при подготовке необходимых количеств исходных материалов для проведения гидролиза этилсиликата.

Расчёт содержания жидких компонентов в огнеупорной суспензии на основе этилсиликата. Исходными данными для расчёта являются: фактический состав используемого этилсиликата (содержание условного SiO_2 , этосильных групп и HCl , в % по массе), принятый по данным сертификата качества на данную партию этилсиликата или определённый экспериментально в заводской лаборатории, содержание воды в органическом РР (этиловом спирте, ацетоне и т. п.), а также способ сушки слоев огнеупорной суспензии или комплекс ожидаемых технологических свойств КО.

Определение количества жидких компонентов огнеупорной суспензии проводят по номограмме, разработанной Я.И. Шкленником [153; 330] и приведенной на рис. 6.20, либо путём расчёта, разработанным В.А. Озеровым и Б.Б. Шприцем [153].

С помощью номограммы определяют количество соляной кислоты, воды и ацетона, необходимое для проведения гидролиза 1-го килограмма этилсиликата, в зависимости от способа сушки КО и содержания условного SiO_2 в ГРЭС.

В качестве примера пользования номограммой определим количество соляной кислоты, воды и ацетона, необходимых для проведения гидролиза этилсиликата,

содержащего 41% SiO₂, с целью получения в растворе гидролизованного этилсиликата 12% SiO₂ и для сушки слоёв огнеупорного покрытия КО во влажном воздухе.

Для расчёта на горизонтальной оси номограммы (см рис. 6.20), где указано содержание условного SiO₂ в этилсиликате в состоянии его поставки на предприятие, находим точку, соответствующую 41% SiO₂, и от неё вверх проводим вертикальную линию. Вертикальная линия, прежде всего, пересекает прямую, соответствующую 12% SiO₂ на шкале "Количество соляной кислоты", определяем необходимое количество соляной кислоты. В данном примере количество соляной кислоты на 1 л этилсиликата составит ~8,2 мл.

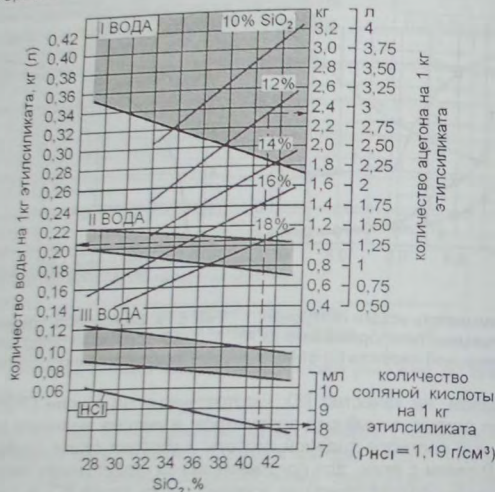


Рис. 6.20. Номограмма для расчёта количества воды, ацетона и соляной кислоты для гидролиза этилсиликата (I ВОДА – сушка в сухом воздухе, II ВОДА – сушка во влажном воздухе, III ВОДА – сушка воздушно-аммиачная)

Проведенная вертикаль проходит через затемнённые поля номограммы, ограничивающие области для определения необходимого количества воды при различных способах сушки КО. Для определения требуемого количества воды для гидролиза необходимо от участка построенной вертикали, лежащего в соответствующей затемнённой области – II ВОДА (сушка во влажном воздухе), провести влево горизонталь до пересечения со шкалой "Количество воды". В данном случае, поскольку сушку слоёв КО предполагается проводить во влажном воздухе, принимаем количество воды для гидролиза, равное 0,205 кг на 1 кг этилсиликата.

Количество ацетона (органического растворителя) определяем исходя из заданного содержания условного SiO₂ в ГРЭС. Для этого необходимо из точки пересечения вертикали и соответствующей прямой (надпись на прямой – 12%) из числа прямых, на которых указано процентное содержание SiO₂ (в %), вправо провести горизонтальную прямую и, соответственно, определить необходимое количество ацетона, выраженное в килограммах или литрах. Для данного примера количество ацетона составит 2,32 кг или 2,9 л.

Определение количества жидких компонентов огнеупорной суспензии путём расчёта по методу В.А. Озерова и Б.Б. Шприца проводят следующим образом.

Расчёт количества воды, растворителя (спирта этилового или ацетона) и соляной кислоты ведут применительно к 1 кг гидролизующего этилсиликата. Количество воды, необходимое для гидролиза 1 кг этилсиликата, рассчитывают по формуле:

$$X = 0,004 \cdot a \cdot M, \quad (6.14)$$

где X – содержание воды, кг (л); а – содержание этоксильных групп в исходном этилсиликате, % по массе, М – количество молей воды на одну этоксильную группу (мольное соотношение).

Необходимое количество ацетона рассчитывают по уравнению:

$$PP = \frac{(SiO_2)_{экс}}{(SiO_2)_{связ}} - (1 + X), \quad (6.15)$$

где PP – содержание разбавителя-растворителя, кг (л); (SiO₂)_{экс} – содержание двуокиси кремния в исходном этилсиликате, %; (SiO₂)_{связ} – содержание двуокиси кремния в связующем растворе, %.

Проводя расчёт воды, добавляемой в раствор для гидролиза, необходимо учесть воду, содержащуюся в PP и, соответственно, скорректировать (уменьшить) количество воды, рассчитанное по формуле (6.14).

В процессе подготовки исходных материалов, как правило, PP дозируют в литрах. Для перевода количества PP из килограммов в литры необходимо рассчитанное значение PP по формуле (6.15) разделить на его плотность. В табл. 6.24 и табл. 6.25 указаны плотности этилового спирта и ацетона в зависимости от содержания в них воды при 20°C.

Таблица 6.24 Плотность растворов этилового спирта с водой при 20°C

Плотность раствора, кг/м ³	Содержание в растворе H ₂ O, % (по массе)	Плотность раствора, кг/м ³	Содержание в растворе H ₂ O, % (по массе)	Плотность раствора, кг/м ³	Содержание в растворе H ₂ O, % (по массе)
789,5	0	805	5,3	825	12,7
791	0,5	810	7	830	14,6
795	1,8	815	8,9	835	16,5
800	3,5	820	10,8	840	18,6

Таблица 6.25

Плотность растворов ацетона с водой при 20°C

Плотность раствора, кг/м ³	Содержание в растворе H ₂ O, % (по массе)	Плотность раствора, кг/м ³	Содержание в растворе H ₂ O, % (по массе)
790,5	0	849,8	20
807,5	5	861,3	25
822,0	10	875,5	30
835,9	15	887,9	35

Следует отметить, что плотность растворов и ацетона, и спирта этилового сильно зависит от их температуры. Поэтому, пользуясь данными табл. 6.24 и табл. 6.25, плотность используемого спирта и ацетона необходимо определять только при 20°C.

Количество соляной кислоты (плотность используемой соляной кислоты при $20^{\circ}\text{C} - 1190 \text{ кг/м}^3$) рассчитывают по формуле (мл):

$$K=0,114 \cdot a,$$

где K – количество HCl, необходимое для гидролиза 1 кг этилсиликата, мл. (6.16)

Пример 6.3. Рассчитать количество жидких компонентов связующего раствора, если требуется изготовить КО с высокой чистотой её лицевого слоя, используя:

- этилсиликат марки ЭТС-40 с содержанием условной двуокиси кремния $(\text{SiO}_2)_{\text{ЭТС}}=40,2\%$ и этоксильных групп $a=68\%$ (по массе);
- PP – спирт этиловый с содержанием воды 5% (по массе)

При этом содержание условной двуокиси кремния в приготавливаемом связующем растворе должно составлять $(\text{SiO}_2)_{\text{связ}}=20\%$, а сушку слоев КО предполагается проводить в увлажнённой воздушно-аммиачной среде.

Расчёт. Поскольку среда сушки слоев КО увлажнённая воздушно-аммиачная, то по данным табл. 6.22 и табл. 6.23, принимаем $M=0,22$.

Расчёт количества воды, необходимой для гидролиза 1 кг этилсиликата, производим по формуле (6.14):

$$X=0,004 \cdot a \cdot M=0,004 \cdot 68 \cdot 0,22=0,05984 \text{ кг.}$$

Расчёт количества PP (спирта этилового), необходимого для получения в ГРЭС 20% условного SiO_2 , производим по формуле (6.15):

$$PP=(\text{SiO}_2)_{\text{ЭТС}} / (\text{SiO}_2)_{\text{связ}} \cdot (1+X)=40,2/20 \cdot (1+0,05984)=0,95016 \text{ кг.}$$

Для перевода количества PP из килограммов в литры воспользуемся данными табл. 6.24. Согласно данным табл. 6.24 плотность этилового спирта, содержащего 5% воды, составляет $\rho_{\text{сп.эт}}=804 \text{ кг/м}^3$, или $0,804 \text{ кг/л}$. В этом случае расчётное количество спирта этилового (в литрах) составит $PP/\rho_{\text{сп.эт}}=0,95016 / 0,804=1,182 \text{ л}$.

При содержании в этиловом спирте 5% воды её содержание в $0,95016 \text{ кг}$ спирта составит:

$$V_{\text{PP}}=PP \cdot 5/100=0,95016 \cdot 5/100=0,047508 \text{ кг.}$$

Исходя из этого, скорректируем содержание воды, добавляемой в раствор:

$$X_1=X - V_{\text{PP}}=0,05984 - 0,047508=0,012332 \text{ кг.}$$

Расчёт требуемого количества соляной кислоты плотностью 1190 кг/м^3 производим по формуле (6.16):

$$K=0,114 \cdot a=0,114 \cdot 68=7,752 \text{ мл.}$$

В результате проведенных расчётов получено следующее количество компонентов, необходимых для гидролиза 1 кг этилсиликата: этилового спирта (с содержанием воды 5%) – $0,95016 \text{ кг}$ ($1,182 \text{ л}$), воды – $0,0123 \text{ кг}$, соляной кислоты плотностью 1190 кг/м^3 – $7,752 \text{ мл}$.

Пример 6.4. Рассчитать количество жидких компонентов связующего раствора, если требуется изготовить КО с высокой чистотой её лицевого слоя, используя:

- этилсиликат марки ЭТС-40 с содержанием условной двуокиси кремния $(\text{SiO}_2)_{\text{ЭТС}}=39\%$ и этоксильных групп $a=67\%$ (по массе);
- PP – обезвоженный ацетон.

Требуемое содержание условной двуокиси кремния в связующем растворе должно составлять – $(\text{SiO}_2)_{\text{связ}}=18\%$. Сушку КО проводят во влажном воздухе.

Расчёт. Поскольку среда сушки КО – влажный воздух, то по данным табл. 6.22 и табл. 6.23, принимаем $M=0,6$.

Расчёт количества воды, необходимой для гидролиза 1 кг этилсиликата, производим по формуле (6.14):

$$X=0,004 \cdot a \cdot M=0,004 \cdot 67 \cdot 0,6=0,1608 \text{ кг.}$$

Расчёт требуемого количества PP (ацетона), для получения в ГРЭС 18% условного SiO_2 производим по формуле (6.15):

$$PP=(\text{SiO}_2)_{\text{ЭТС}} / (\text{SiO}_2)_{\text{связ}} \cdot (1+X)=39/18 \cdot (1+0,1608)=1,005866 \text{ кг.}$$

Для перевода количества PP из килограммов в литры воспользуемся данными табл. 6.25. Согласно табл. 6.25 плотность ацетона, не содержащего воду, составляет $\rho_{\text{ац}}=792 \text{ кг/м}^3$, или $0,792 \text{ кг/л}$. В этом случае расчётное количество ацетона (в литрах) составит $PP/\rho_{\text{ац}}=1,005866 / 0,792=1,27 \text{ л}$.

Исходя из того, что вода в ацетоне отсутствует, её количество, рассчитанное по формуле (6.14), корректировке не подлежит.

Расчёт количества соляной кислоты плотностью 1190 кг/м^3 производим по формуле (6.16):

$$K=0,114 \cdot a=0,114 \cdot 67=7,638 \approx 7,7 \text{ мл.}$$

В результате проведенных расчётов получено следующее количество компонентов, необходимых для гидролиза 1 кг этилсиликата: ацетона – $1,005866 \text{ кг}$ ($\sim 1,27 \text{ л}$), воды – $0,1608 \text{ кг}$ ($\sim 0,16 \text{ л}$), соляной кислоты плотностью 1190 кг/м^3 – $7,7 \text{ мл}$.

Приготовление огнеупорных суспензий. Огнеупорные суспензии должны обладать хорошей кроющей способностью, седиментационной устойчивостью, живучестью, не пениться, иметь стабильную вязкость и сохранять клеящую способность спустя определённое время после нанесения её на поверхность модельного блока.

Кроющая способность огнеупорной суспензии – способность суспензии при нанесении на модельный блок равномерно распределяться (“ложиться”) по его поверхности. Суспензии должны быть достаточно подвижными, чтобы при окутании в них модельного блока затекать в узкие щелевые полости и “карманы” модели, создавать сплошной покровный слой на поверхности модельного блока и, в то же время, удерживаться на его вертикальных и наклонных поверхностях.

Кроющая способность во многом зависит от смачиваемости суспензией поверхности модельного блока. Чем выше смачиваемость, тем выше кроющая способность. В свою очередь, смачиваемость зависит не только от свойств модельного состава, но и природы покрытия, находящегося на поверхности модельного блока. На поверхностях модельных блоков таким покрытием, например, является смазка, используемая для смазывания рабочих поверхностей пресс-форм. Поэтому для обеспечения смачиваемости поверхностей модельного блока огнеупорной суспензией в существующих технологиях предусмотрена технологическая операция по

обезжировке (промывке) модельных блоков непосредственно перед нанесением на них огнеупорного покрытия.

Поскольку нанесение огнеупорной суспензии, используемая для выполнения первого слоя огнеупорного покрытия, должна обладать явно выраженными тиксотропными свойствами и не сползает с поверхности модельного блока. Непосредственно в литейном цехе кроющую способность огнеупорной суспензии оценивают визуально, по внешнему виду окунаемых в неё модельных блоков. Хорошей считается кроющая способность, при которой огнеупорная суспензия полностью покрывает смоченную поверхность модельного блока и равномерно (без потёков) ложится на неё.

Помимо равномерности толщины слоя огнеупорной суспензии, нанесённой на модельный блок, немаловажным параметром является толщина этого слоя. Толщину слоя огнеупорной суспензии оценивают на образце цилиндрической формы (например, образце с размерами $\varnothing 50 \times 150$ мм), выполненном из того же модельного состава, что и модельные блоки. Для определения толщины покрытия нанесённого слоя огнеупорной суспензии не обсыпают зернистым материалом, но высушивают. Средняя толщина высушенного слоя определяется как половина разности между диаметрами образца после и до нанесения на него огнеупорного покрытия.

Седиментационная устойчивость — показатель скорости расслоения жидкой и твёрдой фазы суспензии по высоте ёмкости для хранения или использования суспензии. Величина седиментационной устойчивости зависит от размера и формы зёрен ПМ, соотношения плотностей ПМ и жидкой фазы суспензии, способности частиц ПМ к агрегатированию, вязкости жидкой фазы, а также физико-химических процессов, проходящих на границе раздела ПМ и жидкой фазы [134, 153 и др.]. Чем выше седиментационная устойчивость, тем стабильнее свойства огнеупорной суспензии во времени, тем стабильнее свойства изготавливаемых КО.

По сути, седиментационная устойчивость огнеупорной суспензии характеризует скорость оседания частиц ПМ в баче с огнеупорной суспензией. По величине седиментационной устойчивости назначают периодичность перемешивания огнеупорной суспензии в период нанесения слоёв огнеупорного покрытия, а также проводят выбор конструкции мешалки, в которой осуществляют окунание модельных блоков в суспензию.

Огнеупорные суспензии, используемые для изготовления КО, относятся к кинематически неустойчивым системам. Характеристикой кинематической устойчивости суспензии является гипотермический закон, который, применительно к коллоидным системам, имеет вид:

$$h = \frac{0,75 \cdot R \cdot T}{N \cdot g \cdot \pi \cdot r^2 \cdot (\rho_T - \rho_{ж})} \cdot \ln \frac{n_0}{n_1} \quad (6.17)$$

где h — высота слоя суспензии, на которой произошло изменение содержания твёрдых частиц от n_0 до n_1 ; N — число Авогадро; T — температура суспензии; R — газовая постоянная; $\pi = 3,14$; g — ускорение силы тяжести; r — радиус твёрдой частицы; n_0 и n_1 — содержание твёрдых частиц в вышележащем и нижележащем слоях суспензии соответственно; ρ_T — истинная плотность дисперсного вещества (ПМ); $\rho_{ж}$ — плотность дисперсионной среды (жидкости).

В то же время из курса физики известно, что скорость оседания (V) сферической частицы радиусом r и плотностью ρ_T в жидкой среде с плотностью $\rho_{ж}$ и динамической вязкостью η определяется по формуле:

$$V = \frac{2 \cdot r^2 \cdot (\rho_T - \rho_{ж}) \cdot g}{9 \cdot \eta} \quad (6.18)$$

Из формулы (6.18) следует, что скорость оседания сферической частицы под действием силы тяжести прямо пропорциональна квадрату её радиуса и обратно пропорциональна вязкости дисперсионной среды. Кроме того, при $\rho_T \rightarrow \rho_{ж}$ скорость оседания частиц $V \rightarrow 0$.

Анализ уравнений (6.17) и (6.18) показывает, что, чем ниже температура суспензии, меньше разница плотностей жидкой и твёрдой её составляющей, выше вязкость жидкой составляющей и меньше размеры частиц ПМ, тем выше седиментационная устойчивость суспензии.

Седиментационная устойчивость также зависит от наличия в суспензии твёрдых высокодисперсных частиц (частиц ПМ размером менее 0,01 мкм), к числу которых, например, относится аэросил (SiO_2) или белая сажа (SiO_2). Присутствие высокодисперсного вещества, даже в небольших количествах, существенно повышает седиментационную устойчивость суспензии, придавая ей свойства структурированной жидкости.

Исходя из этого, для повышения седиментационной устойчивости огнеупорных суспензий на основе ГРЭС, авторы работы [336] рекомендуют в суспензию вводить добавки, структурирующие жидкость. Для суспензий, приготволенных, например, на основе воды, такой добавкой является карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) со степенью полимеризации 200...280 или бентонитовая глина, а для огнеупорных суспензий, приготволенных на основе растворителей органического типа — бутосил (органический аэросил с удельной поверхностью 200 м²/г по ТУ 6-18-159-78).

Ввод 2,5% КМЦ или 8,5% бентонита в водную огнеупорную суспензию или 5% бутосила в огнеупорную суспензию с органическим растворителем резко повышает тиксотропию суспензий. При этом через 8 ч коэффициент седиментационной устойчивости суспензий со стабилизаторами равен нулю, а их кроющая способность увеличивается в 1,5...2 раза [336].

Седиментационную устойчивость, как правило, определяют с помощью седиментометров, принцип работы которых основан преимущественно на методе изменения концентрации ПМ по высоте контролируемого объёма огнеупорной суспензии с течением времени.

Условная вязкость. Из вышеперечисленных свойств суспензии в цехах литья по выплавляемым моделям регулярно контролируют только условную вязкость суспензии.

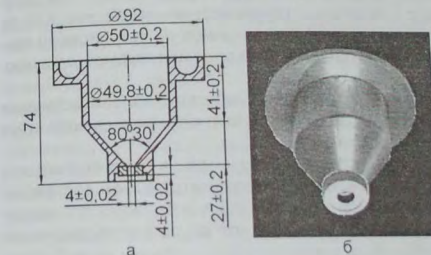


Рис. 6.21. Схема вискозиметра ВЗ-4

Условную вязкость определяют по окончании приготовления огнеупорной суспензии, а также перед её непосредственным использованием или по мере необходимости.

Для определения условной вязкости используют вискозиметр ВЗ-4, схема которого приведена на рис. 6.21, а, либо вискозиметр ВЗ-246 (ГОСТ 9070-75), вид кото-

рого представлен на рис. 6.21,б. Вискозиметр мод. ВЗ-246 отличается от вискозиметра ВЗ-4 лишь тем, что в конструкции вискозиметра ВЗ-246 предусмотрено использование трёх сменных вставок-сопел с диаметром отверстий в них $2\pm 0,012$ мм, $4\pm 0,015$ мм или $6\pm 0,015$ мм.

Вискозиметр ВЗ-4 (ВЗ-246) предназначен для определения условной вязкости (времени истечения) ньютоновских или приближающихся к ним жидкостей в соответствии с ГОСТ 9070-75 (к ньютоновским относят несжимаемые жидкости, например, воду, жидкие металлы и т.п.) при следующих условиях: температура окружающего воздуха — от +10 до +35°C, атмосферное давление — 0,1 МПа, относительная влажность воздуха — до 80%.

Вискозиметр представляет собой резервуар объёмом 100 ± 1 см³ (мл), имеющий форму воронки с калиброванным отверстием в нижней части. Принцип действия вискозиметра основан на определении времени истечения определенного объема испытуемой жидкости через отверстие сопла.

Перед определением условной вязкости суспензию тщательно перемешивают, вискозиметр ВЗ-4 (ВЗ-246) устанавливают вертикально, закрывают его сливное отверстие и через металлическую сетку с ячейкой 1,5...2,0 мм заполняют суспензией под верхней срез. Сразу после заполнения вискозиметра открывают его сливное отверстие и одновременно включают секундомер. В начале процесса истечения из вискозиметра (см. рис. 6.22,а) струя суспензии характеризуется непрерывностью и компактностью. По мере уменьшения количества суспензии в вискозиметре диаметр вытекающей из него струи уменьшается и, в определённый момент времени, непрерывность струи под вискозиметром нарушается, резко переходя из струйного в капельный режим истечения (см. рис. 6.22,б). В этот момент секундомер останавливают. Зафиксированное по секундомеру время (в секундах) и является показателем условной вязкости испытуемой огнеупорной суспензии.

Таким образом, время, выраженное в секундах, с момента начала истечения суспензии из вискозиметра до момента нарушения компактности истекающей струи суспензии и является её условной вязкостью.

Как правило, условная вязкость суспензии, используемой на первый (лицевой) слой огнеупорного покрытия на основе ГРЭС (по вискозиметру ВЗ-4), составляет 40...60 с, для суспензий на основе кремнезоль — 65...80 с и более, а для жидкостеклянных суспензий — 55...65 с. Условная вязкость для второго и последующих слоев КО, как правило, составляет 28...36 с.

Следует отметить, что на вязкость суспензий, при всех прочих равных условиях, большое влияние оказывает форма зёрен используемого ПМ. При одинаковой величине условной вязкости количество наполнителя (ПМ) с остроугольной формой частиц будет значительно меньше, чем при использовании такого же материала с округлой формой частиц.

Смачиваемость. Смачиваемость поверхности модельного блока — одно из важнейших свойств суспензий, используемых для формирования первого (лицевого) слоя огнеупорного покрытия КО. Смачиваемость модельного блока огнеупорной

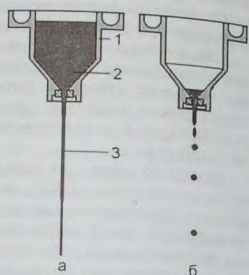


Рис. 6.22. Струйный (а) и капельный (б) режим истечения суспензии из вискозиметра: 1 — вискозиметр; 2 — суспензия; 3 — струя суспензии

суспензией во многом определяет качество отливок. С увеличением смачиваемости, при всех прочих равных условиях, увеличивается чистота поверхности отливок и их размерная точность.

Для оценки смачиваемости материала модели огнеупорной суспензией используют метод лежащей капли. Согласно этому методу каплю суспензии помещают на плоскую горизонтальную поверхность модельного состава. В результате капля принимает одну из близких форм, изображённых на рис. 6.23.

Угол Q (см. рис. 6.23) называют краевым углом смачивания (в нашем случае — суспензией) поверхности твёрдого тела (модельного состава). Величина Q , согласно рис. 6.23, может принимать значения от 0° до 180° . Величину $\cos Q$ называют смачиваемостью. Жидкость смачивает поверхность, если $0^\circ \leq Q \leq 90^\circ$, как было отмечено выше, чем меньше Q (при $Q \leq 90^\circ$), тем выше смачиваемость (см. рис. 6.23,а). Если $90^\circ < Q \leq 180^\circ$ — смачивание отсутствует (см. рис. 6.23,б).

Оценку смачиваемости в условиях производства КО проводят визуально, непосредственно после извлечения модельного блока из огнеупорной суспензии. Суспензия с хорошей смачиваемостью полностью покрывает поверхность модельного блока. При недостаточной смачиваемости суспензия с отдельных поверхностей или со всей поверхности модельного блока стекает, открывая значительные участки поверхности модельного блока.

При использовании в качестве РР жидкостей органического происхождения (ацетон, спирты, ЗАФ и т.п.) смачиваемость поверхности моделей весьма высока. В случае использования в суспензии в качестве РР воды в суспензию для обеспечения смачиваемости вводят ПАВ, повышают вязкость суспензии, непосредственно перед нанесением огнеупорной суспензии обезжиривают поверхность модельного блока растворителями (керосином, бензином, ацетоном, этиловым спиртом и др.), омыляют поверхность модельного блока, наносят на поверхность модельного блока тонкий слой канифоли и т.п. Недостаточно высокая смачиваемость поверхности модели огнеупорной суспензией приводит к образованию на поверхности отливки поверхностного дефекта — сыпи. Сыпь (металлическая сыпь) по внешнему виду похожа на отдельные металлические песчинки, хаотично расположенные на поверхности отливки. Металлические песчинки имеют размеры до 1 мм и могут располагаться как по всей поверхности отливки, так и на её отдельных участках.

Данный дефект образуется в результате заполнения жидким металлом поверхностных дефектов в лицевом слое КО. В свою очередь, поверхностные дефекты КО образуются в результате отрыва от поверхности модели локальных фрагментов огнеупорной суспензии, используемой для выполнения первого (лицевого) слоя КО [330]. Отрыв отдельных фрагментов огнеупорной суспензии происходит с момента окончания обсыпки первого слоя огнеупорного покрытия зернистым материалом до начала фазы активной сушки слоя огнеупорного покрытия.

На рис. 6.24 представлена схема, поясняющая механизм образования сыпи 5 на поверхности отливки 6 (см. рис. 6.24,в). Как было отмечено выше, механизм образования дефекта 5 заключается в отрыве фрагмента огнеупорного слоя суспензии 2 от поверхности модельного блока 1 зернистым огнеупорным материалом 3 (см. рис. 6.24,а). При этом в процессе образования данного дефекта можно выделить три этапа. На первом этапе (см. рис. 6.24,а), после извлечения модельного

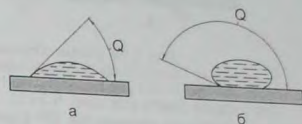


Рис. 6.23. Схема определения краевого угла смачивания методом лежащей капли

блока из огнеупорной суспензии и её обсыпкой зернистым огнеупорным материалом, происходит процесс испарения РР из нанесённого слоя. В этот период суспензия, находящаяся между поверхностью модели и слоем зернистого материала, испытывает растягивающих напряжений, поскольку ещё обладает определённой текучестью.

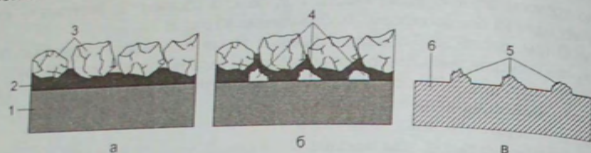


Рис. 6.24. Схема образования поверхностных дефектов на рабочей поверхности КО и отливке

На втором этапе (см. рис. 6.24,б), в процессе сушки, из слоя суспензии удаляется значительное количество РР и начинается процесс интенсивной поликонденсации связующего, приводящий к потере текучести у суспензии. Кроме этого, с испарением РР слой суспензии начинает сокращаться в объёме. С этого момента, на отдельных участках слоя высыхающего огнеупорного покрытия 2, и происходит локальный отрыв суспензии от поверхности модели, обусловленный превосходством адгезионных сил в системе суспензия – зернистый огнеупор над адгезионными силами системы суспензия – модельный состав. В результате фрагментарного отрыва суспензии от поверхности модели и её перемещения в сторону обсыпочного материала, в лицевом слое образуется полость 4, являющаяся её поверхностным дефектом.

На третьем этапе (см. рис. 6.24,в), при заливке КО расплавом, жидкий металл заполняет полости 4, в результате чего на поверхности отливки 6 появляются частички сыпи 5.

При всех прочих равных условиях, для предупреждения образования данного дефекта необходимо увеличить толщину лицевого слоя огнеупорной суспензии на модельном блоке за счёт повышения её вязкости путём ввода в суспензию дополнительного количества ПМ либо использовать зернистый обсыпочный материал меньшей фракции.

Недостаточно высокие адгезионные свойства суспензии к модельному составу в некоторых случаях могут привести к отслаиванию значительных фрагментов лицевого слоя от вогнутых поверхностей поверхности модели 1 в процессе его сушки. Наиболее часто данный вид дефекта наблюдается на вогнутых поверхностях турбинных лопаток, соловых аппаратов, крыльчаток и т.п.

В качестве примера рассмотрим этапы образования данного дефекта на перо турбинной лопатки со стороны "корыта", сечение модели которой представлено на рис. 6.25 а. После нанесения первого слоя огнеупорного покрытия и его обсыпки зернистым материалом вся поверхность модели 1 оказывается покрытой сплошным слоем огнеупорного покрытия 2 (см. рис. 6.25,б). По мере испарения РР и поликонденсации связующего происходит уменьшение объёма нанесённого слоя огнеупорного покрытия и развитие в нём растягивающих напряжений. В определённый момент времени сушки величина растягивающих напряжений в слое возрастает настолько, что становится больше величины силы адгезии между слоем и поверхностью модели. В этот момент твёрдый, но ещё эластичный, лицевой слой огнеупорного покрытия 2 отделяется от поверхности модели 1 со стороны "корыта"

(см. рис. 6.25,в), образуя зазор 3. В ряде случаев величина наибольшего образовавшегося зазора может достигать 1...3 мм.

Другой причиной отслоения лицевого слоя КО от поверхности модели может явиться коробление тонкостенной модели турбинной лопатки по окончании твердения первого слоя КО. Коробление, в частности, может быть обусловлено термическим сжатием и последующим расширением модели, вызванным испарением РР с поверхности слоёв огнеупорного покрытия при его сушке.

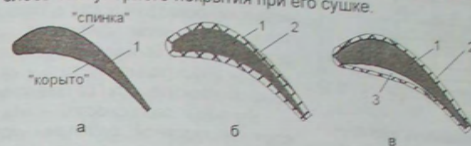


Рис. 6.25. Схема этапов отслоения лицевого слоя КО от поверхности модели. 1 – модель; 2 – лицевой (первый) слой КО; 3 – воздушный зазор

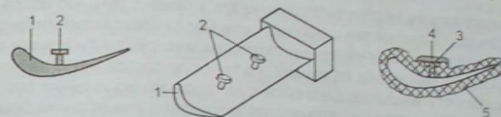


Рис. 6.26. Схема выполнения промывников на перо турбинной лопатки. 1 – модель; 2 – модель промывника; 3 – керамическая пробка; 4 – самотвердеющая огнеупорная паста; 5 – КО

Для предупреждения образования данного вида дефекта увеличивают смачиваемость поверхности модели суспензией путём обезжиривки поверхности модельного блока в органических растворителях, подбора и ввода в суспензию определённого количества ПАВ, увеличения содержания в суспензии доли ПМ, использования модельного состава с низкой величиной КТЛР и пр.

В некоторых случаях для крупных турбинных лопаток на перо модели турбинной лопатки со стороны "корыта" припаивают модели промывников, что схематично представлено на рис. 6.26. После выплавления модельного состава из КО в образовавшиеся от промывников отверстия вводят керамические пробки и закрепляют их в теле КО с помощью самотвердеющей огнеупорной пасты. Наличие таких промывников позволяет не только улучшить условия удаления модельного состава из КО и осуществлять более эффективную очистку внутренней полости КО от случайных частиц, но и существенно понизить вероятность отслаивания лицевого слоя КО от модели со стороны "корыта".

Как было отмечено выше, вероятность отслаивания лицевого слоя от поверхности модели зависит от свойств модельного состава, используемой огнеупорной суспензии и т.п., и определяется прочностью сцепления модели и лицевого поверхности КО. В качестве примера на рис. 6.27 представлена зависимость прочности сцепления модельного состава КПЦ-15 и Р-3 с КО, изготовленной на основе ГРЭС с различной величиной М и различными наполнителями огнеупорной суспензии (на рис. 6.27 обозначены зависимости для: 1 – состава КПЦ-15 и суспензии с кварцем пылевидным; 2 – состава Р-3 и кварца пылевидного; 3 – состава КПЦ-15 и дистен-силлиманита, прокалённого при 950°C; 4 – состава Р-3 и дистен-силлиманита, прокалённого при 950°C).

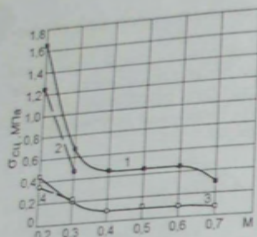


Рис. 6.27. Зависимость прочности сцепления КО с поверхностью модели от величины M в ГРЭС (обработка данных [217])

Данный показатель необходимо учитывать в связи с тем, что после извлечения модельного блока из суспензии с поверхности блока происходит интенсивное испарение РР, приводящее к повышению плотности материала суспензии в слое и переходу связующего вещества из жидкого в твердое состояние. В результате этого клеящая способность высыхающего слоя суспензии на модельном блоке со временем резко снижается и частицы зернистого материала при обсыпке блока к поверхности слоя суспензии не прилипают или прилипают не по всей его поверхности, тем самым резко изменяя прочность КО, ее термостойкость, КТЛР и пр. Во избежание этого, обсыпку блока зернистым огнеупорным материалом следует проводить не позднее чем через 15...20 с после извлечения модельного блока из огнеупорной суспензии.

Жидкотекучесть — свойство суспензии течь под действием собственной массы. Хорошая жидкотекучесть позволяет суспензии проникать в узкие отверстия и полости моделей, во многом определяя размерную точность и качество поверхности отливок. Жидкотекучесть суспензии возрастает с понижением ее вязкости, понижением содержания ПМ в суспензии, повышением температуры суспензии и пр.

Живучесть — это время, в течение которого огнеупорная суспензия пригодна к использованию. Живучесть — показатель комплексный. Его величина может изменяться временем, в течение которого физико-механические и технологические свойства связующего вещества или огнеупорной суспензии изменяются в допустимых пределах. То есть, например, живучесть суспензии (по сути — связующего вещества) может определяться временем повышения ее вязкости до неприемлемого предела или до начала желатинизации или временем ее хранения (с момента изготовления), в течение которого суспензия обеспечивает требуемую прочность или термостойкость изготавливаемых из нее КО и т.п. Наименьшей живучестью из числа наиболее широко применяемых в производстве связующих веществ обладают ГРЭС с величиной $M=0,7...0,8$. При этом, независимо от состава исходных компонентов, марки этилсиликата и условий проведения гидролиза, изменение вязкости ГРЭС во времени подчиняется экспоненциальному закону [300]:

$$v_t = v_0 \exp(-k \cdot t), \quad (6.19)$$

где v_t — вязкость связующего в момент времени t ; v_0 — начальная вязкость связующего; k — коэффициент; t — время.

Анализ зависимости, представленной на рис. 6.27, показывает, что с прочностью сцепления с КО у модельного состава КПЦ-1Б (зависимости 1 и 3) несколько выше, чем у модельного состава Р-3 (зависимости 2 и 4). С увеличением M от $M=0,2$ до $M=0,3$ прочность сцепления резко понижается. При этом использование непрокаленных ПМ в качестве наполнителя огнеупорной суспензии, обеспечивает значительную большую прочность, обеспечивает модели и КО (зависимость 1 и 2), чем использование прокаленных ПМ (зависимость 3 и 4).

Клеящая способность — это способность слоя огнеупорной суспензии удерживать на своей поверхности частицы зернистого материала, нанесенные на него через определенное время после извлечения блока из суспензии.

Коэффициент k , характеризующий скорость изменения вязкости суспензии, может служить мерой живучести связующих материалов. В работе [300] исследовали влияние M (от 0,3 до 1,5) и содержания соляной кислоты (от 0,1% до 0,7%) при гидролизе этилсиликатов на коэффициент k . В результате исследований определено, что максимальное значение k , а следовательно, минимум живучести, имеют связующие при $M=0,7...0,8$. Живучесть связующих веществ, полученных при $M=0,75$, в 4,3 раза ниже, чем у связующих с $M=0,3$, и в 3,6 раза ниже, чем у связующих с $M=1,5$. Кроме того, связующие, приготовленные на основе этилсиликата марки ЭТС-32, имеют длительность хранения в 1,7 раза большую, чем самые стойкие связующие, полученные на основе этилсиликата марки ЭТС-40.

Живучесть связующих, приготовленных на основе ГРЭС, зависит от количества используемой при гидролизе соляной кислоты. По данным [300], максимальной живучестью обладают суспензии с концентрацией соляной кислоты: 0,22% для ЭТС-32 и 0,37% для ЭТС-40. Кроме того, живучесть связующих на основе ГРЭС понижается с увеличением температуры их хранения.

Наполнение огнеупорной суспензии (H) — отношение массы (кг) огнеупорного пылевидного материала (ПМ) в суспензии к объему жидких компонентов огнеупорной суспензии (η). Для огнеупорных суспензий, используемых для изготовления КО, величина H во многом предопределяет как технологические свойства самой огнеупорной суспензии, так и свойства изготавливаемых на ее основе КО и, соответственно, отливок, получаемых в этих КО.

При невысокой величине H огнеупорная суспензия обладает высокой жидкотекучестью и низкой вязкостью. Толщина слоя огнеупорного покрытия, выполненного на такой суспензии, имеет небольшую толщину, что требует увеличения количества наносимых на блок слоев огнеупорного покрытия для достижения требуемой толщины КО. Кроме этого, при невысокой величине H в КО увеличивается относительная доля связующего вещества, что влечет за собой понижение прочности и термостойкости КО, понижение чистоты поверхности и точности отливок, образование химического пригара на поверхности отливок и пр. У суспензий на водной основе, помимо всего прочего, с понижением H заметно ухудшается кроющая способность и седиментационная устойчивость.

Если огнеупорная суспензия с низкой величиной H использована для выполнения первого (лицевого) слоя КО, то на отливке появляются поверхностные дефекты — сыпь (металлическая сыпь) и (или) пригар.

При чрезмерно высокой величине H в КО уменьшается относительная доля связующего вещества, что также влечет за собой понижение ее прочности. С повышением H огнеупорная суспензия становится чрезмерно вязкой и приобретает низкую текучесть. В период погружения и извлечения модельного блока из такой суспензии велика вероятность его разрушения и деформации моделей. Толщина слоя огнеупорного покрытия, выполненного на такой суспензии, имеет значительную толщину и требует увеличения длительности сушки каждого слоя огнеупорного покрытия на модельном блоке. Отливки, полученные в таких КО, как правило, характеризуются наличием в них дефектов засорного типа, в том числе выявляемых методами капиллярной дефектоскопии.

При всех прочих равных условиях, степень наполнения огнеупорной суспензии зависит от формы частиц наполнителя суспензии (ПМ). Если частицы наполнителя имеют округлую форму, то, при одинаковой величине условной вязкости, степень наполнения такой огнеупорной суспензии будет на 12...20% выше, чем степень наполнения суспензии при использовании наполнителя (ПМ) с остроугольной формой частиц. В результате использования ПМ (наполнителя) с остроугольной формой

частиц заметно повышается шероховатость поверхности отливок, на поверхности отливок может образоваться сыпь, а также поверхностный засор, выявляемый капиллярными методами дефектоскопии.

В условиях цеха, при отсутствии возможности визуальной оценки формы зерен ПМ, можно ориентироваться на насыпную плотность ПМ, используя метод взвешивания [233] в стеклянной колбе (см. рис. 6.28) или другой ёмкости известного объёма и массы.

Ориентировочная насыпная плотность некоторых ПМ со средним размером частиц 40...45 мкм и округлой формой зерен, приведена в табл. 6.26.

Ориентировочная насыпная плотность ПМ со средним размером частиц 40...45 мкм и округлой формой зерен

Таблица 6.26

Материал	$\rho_{ПМ}, \text{г/дм}^3$	Материал	$\rho_{ПМ}, \text{г/дм}^3$
Кварц кристаллический	1560	Шамот высокоглинозёмистый	1770
Кварц плавный аморфный (НКС)	1240-1310	Муллит	1790
Электрокорунд белый	2350	Окись циркония	3280
Окись магния (периклаз)	2100	Силикат циркония	2690
Дистен-силлиманит	2000	Мультицирконий	2590



Рис. 6.28. Колба, заполненная ПМ, для определения его насыпной плотности

Чем ниже от указанного в табл. 6.26 значение насыпной плотности того или иного ПМ, тем больше вероятность получения отливок с повышенной шероховатостью и сыпью на поверхности.

На отечественных предприятиях приготовление связующих растворов и огнеупорных суспензий, в основном, осуществляется на установках мод. 63431 или мод. 661. При этом технология приготовления огнеупорной суспензии заключается в смешивании её твёрдых и жидких компонентов в механической мешалке либо, если в качестве связующего вещества огнеупорной суспензии используют ещё не гидролизованый этилсиликат, в проведении гидролиза этилсиликата в присутствии ПМ.

Применительно к огнеупорным суспензиям, приготовленным на основе ГРЭС, способ их приготовления называют раздельным, если приготовление суспензии состоит в смешивании ГРЭС и ПМ (наполнителя суспензии), и смешённым способом, если гидролиз этилсиликата осуществляют после ввода в него соответствующих навесок жидких компонентов и ПМ.

Приготовление суспензии раздельным способом с предварительным гидролизом этилсиликата. Данный способ приготовления суспензии предполагает выполнение двух основных технологических операций – гидролиз этилсиликата и смешивание полученного ГРЭС с твёрдым наполнителем (ПМ).

Пример 6.5. Для приготовления огнеупорной суспензии необходимо:

1. Отмерить необходимое количество компонентов суспензии, а именно (по массе):

- этилсиликата (ЭТС-32 или ЭТС 40) – 35...50%;

- воды – 2...12% (по расчёту);

- ацетона или раствора ацетона (45%) со спиртом изопропиловым (55%), или спирта этилового, или ЭАФ – остальное (до 100% жидких составляющих);

- кислоты соляной – 0,2...0,3% (сверх 100% жидкой составляющей);

- ПМ (кварца пылевидного марки КП-1, КП-2, КП-3 либо дистен-силлиманита, либо, согласно рекомендациям ОСТ 4 ГО.054.095, смеси электрокорунда, состоящего из электрокорунда марки М7 или М10 – 25%, М40 – 40%, №5 – 35%), – из расчёта 2,5...3,0 кг на 1 кг жидкой составляющей;

- вещества вспомогательного ОП-7, ОП-10 или контакта Петрова – 0,05...0,1% от массы жидких составляющих (для суспензии на первый слой огнеупорного покрытия).

2. Проверить температуру исходных материалов (температура исходных материалов должна быть не ниже 14...17°C. Оптимальная температура – 24...28°C).

3. В установку приготовления суспензии (в мешалку, гидролизёр) загрузить распечатанные крыльчатки мешалки – не менее 2800 об/мин. Включить мешалку (частота вращения крыльчатки мешалки – не менее 2800 об/мин).

4. Залить этилсиликат. В случае использования, например, этилсиликата марки ЭТС-32, температура раствора в процессе гидролиза должна быть в пределах от 38 до 50°C. Поддержку указанной температуры в процессе проведения гидролиза осуществлять путём постоянного охлаждения приготавливаемого раствора проточной водой в рубашке охлаждения установки.

Первый замер температуры приготавливаемого раствора провести через 10...15 мин после включения мешалки установки. Повторный замер температуры раствора должна быть ниже, чем при первом замере. При повторном замере температура раствора должна быть ниже, чем при первом замере.

Длительность перемешивания раствора определяется скоростью прохождения реакции гидролиза и длительностью охлаждения гидролизованного раствора до 45...60 мин.

5. Прекратить перемешивание (отключить мешалку). Раствор перелить в стеклянную бутылку с притёртой пробкой.

Хранение раствора осуществлять при температуре 18...22°C. Длительность хранения приготовленного раствора определяется температурой его хранения и температурой хранения приготавливаемого раствора, тем более длительный период он сохраняет свои свойства.

Гидролизованные растворы с очень малым количеством воды (M<0,35) можно хранить более года. В случае проведения гидролиза с большим количеством воды – срок хранения до 35 дней.

6. Для приготовления суспензии в ГРЭС порционно ввести ПМ и перемешивать суспензию до полного исчезновения комков ПМ (30...60 мин).

7. Проверить и скорректировать величину условной вязкости приготовленной суспензии по вискозиметру ВЗ-4.

Рекомендуемая величина условной вязкости суспензий для первого и последующих слоёв огнеупорного покрытия указана в табл. 6.27

Таблица 6.27

Рекомендуемая величина условной вязкости суспензий для первого и последующих слоёв огнеупорного покрытия (по вискозиметру ВЗ-4)

Наполнитель суспензии	Условная вязкость суспензии, с		
	Слой № 1	Слой № 2	Последующие слои
Кварц пылевидный, дистен-силлиманит	45-60	30-35	28-32
Электрокорунд белый	25-40	17-19	15-17

Доводку вязкости суспензии до требуемой величины осуществляют, соответственно, вводом необходимого количества связующего раствора или ПМ.

Совмещённый способ гидролиза этилсиликата с использованием органических растворителей. При использовании в качестве связующего ГРЭС с $M > 0,54$ приготовление суспензии проводят совмещённым способом, предложенным М.Н. Ефимовым и З.А. Анчевской. Суть совмещённого способа состоит в том, что процесс гидролиза этилсиликата совмещён с процессом приготовления огнеупорной суспензии, для чего к жидким компонентам суспензии добавляют ПМ и начинают процесс гидролиза (активное перемешивание суспензии с принудительным тепловодом от нее). Достоинством совмещённого способа гидролиза этилсиликата является то, что прочность получаемых КО в 1,2...1,5 раза превышает прочность аналогичных КО, изготовленных с использованием огнеупорной суспензии, приготовленной раздельным способом.

Пример 6.6. Для приготовления огнеупорной суспензии на основе этилсиликата и органического растворителя совмещённым способом необходимо:

- Отмерить необходимое количество компонентов суспензии, по массе:
 - этилсиликата (ЭТС-32 или ЭТС-40) – 35...50%;
 - воды – 2...12% (по расчёту);
 - ацетона (раствора, состоящего из 45% ацетона и 55% спирта изопропилового, либо спирта этилового, либо ЭАФ) – остальное (до 100% жидких составляющих);
 - кислоты соляной – 0,2...0,3% (сверх 100% жидкой составляющей);
 - кислоты серной – из расчёта 5 мл на 1 л жидкой составляющей;
 - кварца пылевидного марки КП-1, КП-2, КП-3 – из расчёта 2,5...3,0 кг на 1 л жидкой составляющей;
 - вещества вспомогательного ОП-7, ОП-10 или контакта Петрова – 0,05...0,1% от массы жидких составляющих (в случае необходимости, для суспензии, используемой для выполнения первого слоя огнеупорного покрытия КО, для улучшения смачивания поверхности модели).
 - Проверить температуру исходных материалов (температура исходных материалов должна быть не ниже 14...17°C).
 - В установку приготовления суспензии (гидролизёр) залить этилсиликат.
 - Включить мешалку и залить растворитель органический, затем влить в бак мешалки кислоту серную.
 - Порционно засыпать кварц пылевидный (из расчёта 80% от расчётного количества) и перемешивать суспензию до полного исчезновения комков ПМ.
 - Приготовить подкисленную воду, для чего влить в расчётное количество воды необходимое количество кислоты соляной и тщательно перемешать.
 - Залить подкисленную воду в суспензию.
 - Засыпать остаток кварца пылевидного.
 - Перемешивать в течение ~1 часа до достижения суспензией температуры 22...25°C (частота вращения крыльчатки мешалки гидролизёра – не менее 2800 об/мин.).
- Контрольный замер температуры суспензии провести через 20 мин после начала её перемешивания. При этом температура суспензии должна быть в пределах от 32 до 36°C. Через 40 мин после начала перемешивания включить охлаждение гидролизёра.
- Проверить и довести условную вязкость суспензии по вискозиметру ВЗ-4 до технологической.
- Срок хранения суспензии в закрытой ёмкости при 18...22°C – не более 6...7 суток.

Совмещённый способ гидролиза этилсиликата без органических растворителей. Совмещённый способ гидролиза этилсиликата без органических растворителей разработан В.Н. Ивановым и Г.М. Зарецкой. Основным отличием данного способа гидролиза от совмещённого способа с органическими растворителями состоит в том, что органический растворитель в суспензии заменён адекватным количеством воды. То есть гидролиз этилсиликата протекает при $M \geq 0,7$ с образованием силсилазоля. Другим отличием данного способа от вышеописанного является то, что процесс гидролиза в этом случае необходимо проводить при частоте вращения крыльчатки гидролизёра $(4...5) \cdot 10^3$ об/мин.

Суспензии, приготовленные на основе ГРЭС с величиной $M > 0,7$, называют водными (ВС). В табл. 6.28 приведены некоторые свойства огнеупорных суспензий типа ВС, а также указана прочность КО, полученных на их основе [153].

Параметры водных суспензий и КО на их основе

Таблица 6.28

Тип огнеупорной суспензии	Твёрдый наполнитель суспензии	Добавка	SiO ₂ из ЭТС, % (по массе)	Живучесть суспензии, сут.	σ_{II}^{900} , МПа
ВС-1	кварц кристаллический	Нет	14–16	4–6	8–10
ВС-2	НКС	ПАВ	9–12	4–6	10–12
	кварц кристаллический	ПАВ	12–20	5–7	12–13

Приготовление водной суспензии типа ВС-1 начинают с приготовления эмульсии. Для приготовления эмульсии с величиной $M = 0,7...0,8$ в предварительно подкисленную воду (~50% от расчётного количества воды), при интенсивном перемешивании, вливают расчётное количество этилсиликата. После непродолжительного перемешивания, во избежание загустевания и желатинизации эмульсии, в неё добавляют остаток воды, понизив этим содержание условного SiO₂ в эмульсии до 14...16%. Добавив воду, в полученную эмульсию немедленно вводят ПМ, продолжая перемешивать до получения однородной суспензии с температурой 18...22°C.

Существуют и другие варианты приготовления суспензий типа ВС-1, например, с использованием шликера (смесь воды и ПМ), который после приготовления эмульсии немедленно вливают в бак мешалки и продолжают перемешивание.

Огнеупорные суспензии типа ВС-2 и ВС-3 готовят совмещённым способом, не допуская повышения температуры суспензии во время приготовления выше 35°C, по одному из следующих вариантов.

Пример 6.7. (вариант 1). 1. Отмерить необходимое количество компонентов суспензии, а именно (по массе):

- этилсиликата (ЭТС-32) – 40...50%;
- воды – остальное (до 100% жидких составляющих);
- кислоты соляной – 0,6...0,8% (сверх 100% жидкой составляющей);
- кислоты серной – 0,5...0,7% (сверх 100% жидкой составляющей);
- вспомогательного вещества ОП-7 или ОП-10 – 0,05...0,1% (сверх 100% жидкой составляющей);
- ПМ (кварца пылевидного марки КП-1, КП-2, КП-3) – из расчёта 2,5...3,0 кг на 1 л жидкой составляющей.

Пример 6.7. (вариант 2). 1. Отмерить необходимое количество компонентов суспензии, а именно (по массе):

- этилсиликата (ЭТС-40) – 30...35%;
- воды – остальное (до 100% жидких составляющих);

- кислоты соляной – 0,6... 0,7% (сверх 100% жидкой составляющей);
- кислоты ортофосфорной (H_3PO_4) – 2%;
- вспомогательного вещества ОП-7 или ОП-10 – 0,05... 0,1% (сверх 100% жидкой составляющей);
- кварца пылевидного марки КП-1, КП-2, КП-3 – из расчёта 2,5...3,0 кг на 1 л жидкой составляющей.

2. Проверить температуру исходных материалов. Температура исходных материалов должна быть не ниже 14...17°C.

3. В установку приготовления суспензии (гидролизёр) залить воду, соляную и серную кислоты.

4. Включить мешалку и засыпать кварц пылевидный из расчёта 80% от расчётного количества. Перемешивать суспензию до полного исчезновения комков ПМ (частота вращения крыльчатки мешалки гидролизера – 4000...5000 об/мин).

7. Залить этилсиликат.

8. Засыпать остаток навески кварца пылевидного.

9. В процессе гидролиза температуру суспензии поддерживать в пределах от 27 до 30°C. Поддержку температуры суспензии осуществлять путём её постоянного охлаждения проточной водой в рубашке охлаждения установки.

10. Перемешивать в течение ~1 часа, впоследствии охладив суспензию до температуры 18...22°C.

11. Проверить и довести условную вязкость суспензии по вискозиметру ВЗ-4 до технологически необходимой.

12. Ввести вспомогательное вещество ОП-7 или ОП-10 и перемешивать суспензию в течение 10...15 мин.

Срок хранения суспензии в закрытой ёмкости при 18...22°C – не более 3 суток. Рекомендуется содержание SiO_2 в жидкой составляющей суспензии поддерживать на уровне 12...15% (по массе). При условии длительного хранения суспензии содержание кислот в суспензии необходимо иметь на нижнем вышеуказанном уровне, а для приготовления суспензии использовать прокалённый пылевидный кварц, не обработанный серной кислотой.

В настоящее время разработано достаточно большое количество рецептов для получения огнеупорных суспензий типа ВС, в частности, в работе [206] для приготовления огнеупорной суспензии использовали (по массе): 28% этилсиликата марки ЭТС-40, 1,6% H_3PO_4 , 0,8% HCl, 0,1 мтаупона, остальное – вода. Для уменьшения пенообразования в суспензии и увеличения её живучести в суспензию дополнительно вводят алкилсиликат натрия (ГЮК-10) и полисилоксановую жидкость марки ПМС-100 (0,05... 0,40 мас. %).

В работе [293] с целью снижения расхода этилсиликата и повышения термостойкости КО использовали суспензии, состав которых приведен в табл. 6.29.

Состав огнеупорных суспензий

Таблица 6.29

Материал	Содержание в суспензии, %, по массе	
	№ 1	№ 2
Этилсиликат марки ЭТС-40	30	30
Соляная кислота (в пересчёте на HCl)	1	0,4-0,5
Ортофосфорная кислота (в пересчёте на безводный продукт)	-	2
Вода	остальное	остальное
Наполнитель суспензии (П)	2,3	2,8
Мтаупон (от общего объёма суспензии)	0,05-0,07	0,08-0,10

В качестве зернистого обсыпочно-материала модельных блоков использовали шломот зернистостью 0,315 мм и 0,63 мм. Сушку слоёв КО проводили при 24...26°C, относительной влажности воздуха 45...60% и скорости воздуха 2,0...2,5 м/с. Длительность сушки первого слоя составила 14...15 ч, второго – 7...8 ч, третьего – 14...15 ч, четвертого – 18 ч. Для отливок массой 2...5 кг на блоки дополнительно наносили пятый слой огнеупорной покрытия и сушили его в течение 20 ч. Модельный состав из КО выплавляли в горячей воде.

Вышеописанная технология изготовления КО позволила авторам [293] прокаливать КО при температуре 950°C, охладить их до комнатной температуры и, после засыпки на 1/3 высоты блока горячим опорным наполнителем, заливать сталью или чугуном.

При отсутствии быстроходных мешалок гидролиз можно проводить и в мешалках с частотой вращения крыльчатки 2800 об/мин, используя предварительно подготовленный шликер. В этом случае для гидролиза этилсиликата без органических растворителей предварительно готовят шликер плотностью 1,9...2,1 г/см³, состоящий из воды, соляной кислоты, ПАВ и ПМ (а. с. СССР № 521060).

Для приготовления шликера в ёмкость наливают необходимые количества жидких компонентов в вышеприведённом порядке, перемешивают в течение 1...2 мин и засыпают ПМ. Перемешивание суспензии продолжают в течение 0,5...3,0 ч. По окончании приготовления шликера в него вводят этилсиликат и продолжают перемешивать ещё в течение 40...45 мин.

Для проведения гидролиза по данному способу нет необходимости использовать быстроходные мешалки, поскольку предварительное приготовление шликера обеспечивает огромную площадь реакционной поверхности (поверхности контакта) этилсиликата и воды. Это становится возможным за счёт того, что в результате приготовления шликера каждая частичка ПМ становится покрытой (гладкой) слоем подкисленной воды.

С целью повышения прочности КО, изготовленных на основе суспензии типа ВС, авторы работы [256] применили двухэтапный способ приготовления суспензии с использованием шликера. На первом этапе приготовления готовят шликер с величиной pH=2 и плотностью 1,95 г/см³, состоящий (по массе) на 80% из кварца пылевидного (от общего количества кварца), 19,6% воды, 0,4% кислоты (серной или соляной).

Для приготовления шликера в бак с мешалкой наливают воду, кислоту, перемешивают в течение 1...2 мин, затем в бак порционно засыпают первую часть навески пылевидного кварца. Бак герметично закрывают крышкой и перемешивают содержимое в течение 30...35 мин.

В процессе перемешивания через 15...20 мин температура шликера повышается до 60°C. После повышения температуры шликер перемешивают ещё 15...20 мин, охлаждают до 35...37°C и вводят в него этилсиликат (~6,8%) и остаток навески кварца пылевидного.

После этого суспензию при закрытой крышке бака, перемешивают в течение 15...20 мин. По окончании перемешивания бак разгерметизируют, вводят в суспензию 0,1% ПАВ и при постоянном перемешивании охлаждают её до 20°C.

КО, изготовленные из огнеупорной суспензии, приготовленной данным способом, характеризуются удовлетворительной прочностью и относительно невысокой газопроницаемостью.

Для сравнения в табл. 6.30 приведены составы огнеупорных суспензий, приготовленных различными способами, а в табл. 6.31 приведены некоторые свойства КО, полученных из этих суспензий.

Составы огнеупорных суспензий

Таблица 6.30

Способ приготовления суспензии	Содержание компонентов, % (по массе)				условная вязкость по ВЗ-4
	этилсиликат	ацетон	вода	кварц пылевидный	
Совмещенный, с органическим растворителем	14,7	11,0	3,0	70,8	56
Совмещенный (ВС)	14,0	-	14,0	71,8	55
Шликерный (ВС)	6,8	-	19,4	73,3	54

Свойства КО, изготовленных на основе водных огнеупорных суспензий

Таблица 6.31

Способ приготовления суспензии	σ_{II} при 20°C, МПа	Газопроницаемость, ед
Совмещенный, с органическим растворителем	5,56	0,124
Совмещенный (ВС)	3,50	0,107
Шликерный (ВС)	4,65	0,080

Приготовление суспензии на основе готового связующего типа ГС

Предварительная подготовка к использованию ГС на предприятии-изготовителе значительно упрощает процесс приготовления огнеупорной суспензии в цехе. Суть процесса приготовления огнеупорной суспензии на ГС состоит в замешивании в него определённого количества ПМ до получения необходимой величины условной вязкости суспензии, с предварительным вводом в суспензию определённого количества серной или ортофосфорной кислоты для нейтрализации железа, присутствующего в ПМ. При этом перемешивание суспензии проводят в водоохлаждаемом баке мешалки (гидролизёра) до получения раствора, однородного по консистенции.

Суспензия на основе ацетонового раствора кремниевой кислоты (АРК-1).

Пример 6.8. Для приготовления суспензии на основе ацетонового раствора кремниевой кислоты АРК-1 необходимо:

- Отмерить (по массе) необходимое количество компонентов суспензии, а именно:
 - АРК-1 – 100%;
 - кислоты серной – 0,8 % сверх 100% АРК-1 (применять при использовании кварца непрокалённого пылевидного);
 - ПМ (кварца пылевидного марки КП-1, КП-2, КП-3) – из расчёта 2,3...2,5 кг на 1 л жидкой составляющей суспензии.
- В бак мешалки залить АРК-1, включить охлаждение бака мешалки.
- Залить кислоту серную, включить мешалку (частота вращения лопастей мешалки – 1000...2800 об/мин).
- Засыпать кварц пылевидный и перемешивать до получения однородной суспензии.
- Проверить и довести условную вязкость суспензии по вискозиметру ВЗ-4 до технологически необходимой (вязкость суспензии для первого и последующих слоёв огнеупорного покрытия – 40...60 с).

Приготовление суспензии вести при её постоянном охлаждении, обеспечивая температуру раствора не выше 16°C. Срок хранения приготовленной суспензии при температуре 12...16°C – не более 3-х суток.

При использовании связующего АРК-1 с целью повышения прочности КО допускается его частичная замена (20...30%) на ГРЭС с Мс0,35.

Суспензии на основе алюмохромосфатного связующего. Суспензии на основе алюмохромосфатного связующего в настоящее время широкого распро-

странения не нашли в связи с недостаточной прочностью получаемых КО. Поэтому эти суспензии, в основном, используют для выполнения в КО спаренных слоёв, то есть в сочетании со слоями из жидкостекольной суспензией или суспензией, приготовленной на основе кремнезола (спаренные слои КО получают в результате попеременного нанесения на модельный блок огнеупорных суспензий с различными физико-химическими свойствами связующими веществами).

Пример 6.9. (Приготовление алюмохромосфатной суспензии для изготовления спаренных слоёв КО).

Для приготовления суспензии необходимо:

- Отмерить необходимое количество компонентов суспензии, а именно (по массе):
 - алюмохромосфата – 59...60 л;
 - воды – 44...50 л;
 - кислоты соляной – 0,1...0,14 л (применять при использовании кварца непрокалённого пылевидного);
 - ПМ (кварца пылевидного марки КП-1, КП-2, КП-3) – из расчёта 0,25...1,5 кг на 1 кг жидкой составляющей;
 - кислоты борной – 160...250 г.
 - В бак мешалки залить воду и алюмохромосфат.
 - Включить мешалку и перемешать раствор в течение 5...10 мин (частота вращения лопастей мешалки – 1000...2800 об/мин).
 - Засыпать кварц пылевидный, кислоту борную.
 - Залить кислоту соляную и перемешивать в течение 30...40 мин.
 - Проверить и довести условную вязкость суспензии по вискозиметру ВЗ-4 до технологически необходимой (30...35 с по вискозиметру ВЗ-4).
- Срок хранения приготовленной суспензии при температуре 12...32°C – не более 30 суток.

При использовании алюмохромосфата добавляют борную кислоту в количестве 1...3% от массы жидких составляющих суспензии с целью повышения прочности КО в прокалённом состоянии.

Суспензии на основе жидкого стекла. В настоящее время суспензии, приготовленные на основе жидкого стекла, как правило, используют для получения деталей общемашиностроительного назначения в качестве упрочняющих слоёв либо для изготовления всех слоёв КО с последующим закреплением в 27%-ном (по массе) водном растворе хлористого алюминия, либо в качестве спаренных слоёв комбинированной КО.

На некоторых предприятиях жидкостекольную суспензию используют для изготовления лицевого слоя КО, используемых для получения отливок как из чёрных, так и цветных сплавов, с температурой заливки до 1700°C (кроме марганцовистых сталей, марганцовистых чугунов, а также магниевых сплавов). При этом все остальные слои КО выполняют либо на основе гидролизованного раствора этилсиликата с молярным соотношением $M=0,56...0,7$, либо на основе жидкого стекла или кремнезола, но после предварительного химического закрепления лицевого слоя водным раствором соли с кислыми свойствами (например $AlCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$ и т.п.).

Для предотвращения химического пригара на отливках из тугоплавких сплавов огнеупорную суспензию для лицевого слоя готовят из неподготовленного жидкого стекла с плотностью 1,137...1,175 г/см³ и модулем 2,8...3,1, обеспечивая условную вязкость готовой суспензии – 55...65 с (при использовании кварца пылевидного или дистен-силлиманита). С целью обеспечения хорошей кроющей способности в огнеупорную суспензию вводят ПАВ.

Срок годности приготовленной жидкостекольной суспензии – 3 мес, температура хранения – от 0 до 30°C в закрытой ёмкости.

Подготовка жидкого стекла. Как правило, жидкое натриево-стекло поступает в цех имея плотность 1,50 г/см³. Поэтому до начала работы с ним жидкое стекло разбавляют водой до необходимой плотности и, в некоторых случаях, повышают его модуль натриевого стекла отности жидкого натриевого стекла от количества введенной в него воды (на 1 кг жидкого стекла) представлена на рис. 6.29.

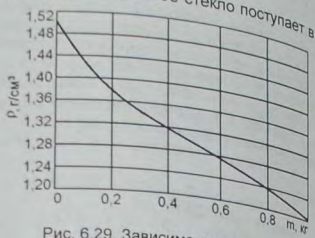


Рис. 6.29. Зависимость плотности натриевого жидкого стекла от количества воды, введенной на его 1 кг

Если исходное жидкое стекло имеет плотность, отличную от величины 1,5 г/см³, то количество воды, необходимое для разбавления жидкого стекла до требуемой плотности, рассчитывают по уравнению:

$$m = M_{жс} \cdot \frac{\rho_{н} - \rho_{п}}{\rho_{п} - 997},$$

где m — масса воды, кг; $M_{жс}$ — исходная масса жидкого стекла, кг; $\rho_{н}$ и $\rho_{п}$ — плотность исходного и разбавленного водой жидкого стекла при 20°C соответственно, кг/м³.

Повышение модуля жидкого стекла (подготовку жидкого стекла) проводят с целью сокращения длительности сушки слоев огнеупорного покрытия КО, которую ковенно можно оценить по длительности коагуляции жидкого стекла. Длительность коагуляции жидкого стекла зависит как от его модуля, так и его плотности, о чем свидетельствуют зависимости, представленные на рис. 6.30.

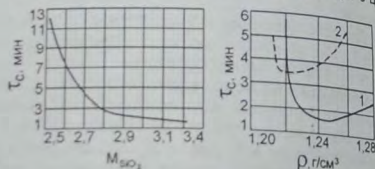


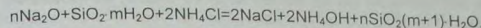
Рис. 6.30. Зависимости длительности коагуляции жидкого стекла в зависимости от его модуля и плотности

Из анализа хода зависимостей, представленных на рис. 6.30 следует, что время коагуляции жидкого стекла уменьшается с увеличением его модуля и носит экстремальный характер в зависимости от плотности жидкого стекла [246]. При этом длительность коагуляции подготовленного жидкого стекла (см. зависимость 1 на рис. 6.30) меньше длительности коагуляции неподготовленного жидкого стекла (см. зависимость 2 на рис. 6.30).

Повышение модуля жидкого стекла (подготовку жидкого стекла) осуществляют путем частичного перевода двуокиси натрия в соль, что позволяет получить жидкое стекло с модулем 3,5...3,9. Наиболее распространенным методом повышения модуля жидкого стекла, используемым в цехах литья по выплавляемым моделям, является его обработка соляной или ортофосфорной кислотой.

По методу П.С. Першина модуль жидкого стекла повышают путем его обработки водным раствором хлористого аммония. Ввод предварительно нагретого до 70...80°C водного раствора хлористого аммония в жидкое стекло (плотность жид-

кого стекла 1,4 г/см³) сопровождается выпадением в осадок творожистой массы белого цвета, состоящей из смеси кремнезема и хлористого натрия:



По прошествии 4...8 ч творожистая масса растворяется. В результате этого модуль жидкого стекла повышается на 0,4...0,5.

Для обработки хлористым аммонием рекомендуется на 1 кг жидкого стекла добавить 300 г водного раствора хлористого аммония, концентрацию которого определяют по зависимости, представленной на рис. 6.31. При этом подготовку жидкого стекла, связанную с повышением его модуля, необходимо проводить за сутки до его использования в составе огнеупорной суспензии.

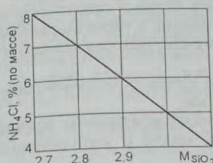


Рис. 6.31. Зависимость количества хлористого аммония, вводимого в водный раствор жидкого стекла от величины его модуля

полигликолях, в горячем воздухе и т.п. модуль используемого жидкого стекла можно не изменять, ограничившись понижением его плотности до 1,2...1,4 г/см³.

Пример 6.10. (Приготовление суспензии на неподготовленном жидком стекле для первого слоя КО). Для приготовления суспензии необходимо:

1. Разбавить натриево жидкое стекло водой до плотности 1,137...1,147 г/см³.
 2. Отмерить необходимое количество компонентов суспензии (по массе):
- стекла жидкого (плотностью 1,13...1,17 г/см³) — 25...33%;
- кварца пылевидного марки КП-1, КП-2, КП-3 — 75...67%;
- ПАВ (ОП-7, ОП-10, СМС) — 0,05...0,06% (сверх 100%).
Допускается взамен кварца пылевидного использовать смесь, состоящую из 10...15% глины огнеупорной и 90...85% кварца пылевидного.
 3. Залить жидкое стекло в бак мешалки, включить мешалку (частота вращения лопастей мешалки — 1000...2800 об/мин).
 4. Не прекращая перемешивания порционно в течение 5 мин засыпать в бак мешалки кварц пылевидный.
 5. Раствор перемешивать в течение 60 мин до получения однородной по консистенции суспензии, после чего ввести ПАВ.
 6. Перемешивать суспензию в течение 10...20 мин.
 7. Проверить и довести основную вязкость суспензии по вискозиметру ВЗ-4 до технологически необходимой (вязкость суспензии должна быть в пределах от 55 до 67 с).
- Суспензию, не содержащую глины, можно использовать через 1 ч с момента окончания её приготовления. Суспензию, содержащую глину, можно использовать спустя 24 ч с момента окончания приготовления суспензии. С целью предупреждения изменения в суспензию вводят 1...2% этилсиликата.

Срок хранения приготовленной суспензии в закрытой ёмкости при температуре 12...35°C – до 6 мес.

В случае изготовления КО на основе жидкого стекла, во избежание отслаивания (вспучивания) лицевого слоя при нанесении на блок второго жидкостекляного или кремнезольного слоя покрытия (суспензии с pH=7), необходимо, по окончании сушки первого слоя, обработать модельный блок фиксирующим водным раствором с pH=4,5, например, водным раствором сернистого алюминия. Для обработки, блок с высушенным первым слоем покрытия на 2...5 с погружают в 15...25% раствор сернистого алюминия, после чего блок извлекают из раствора и вторично просушивают.

Использование данной суспензии позволяет получать отливки практически из любых типов сплавов (кроме сплавов на основе титана, магния, а также высококомандовистых сталей и чугунов), в том числе и в условиях вакуума, без пригара и с высоким качеством поверхности.

Не рекомендуется использовать данную суспензию в условиях механизированного нанесения огнеупорного покрытия на модельные блоки.

Пример 6.11. (Приготовление суспензии на неподготовленном жидком стекле для второго и последующих слоёв, в том числе и упрочняющих слоёв). Для приготовления суспензии необходимо:

1. Жидкое стекло разбавить водой до плотности 1,19...1,21 г/см³.
2. Отмерить необходимое количество компонентов суспензии (по массе):
 - стекло жидкое натриевое – 35...45%;
 - ПМ (кварц пылевидный марки КП-1, КП-2, КП-3) – 55...65%;

В качестве ПМ допускается использование смеси, состоящей из 10...15% глины огнеупорной и 90...85% кварца пылевидного.

3. Залить жидкое стекло в бак мешалки, включить мешалку (частота вращения крыльчатки мешалки – 1000...2800 об/мин).

4. После перемешивания в течение 1...2 мин засыпать кварц пылевидный.

5. Перемешивать в течение 30...40 мин до получения однородной суспензии.

6. Проверить и довести условную вязкость суспензии по вискозиметру ВЗ-4 до 32...35 с для второго слоя, и 19...22 с для третьего и последующих слоёв КО.

Суспензию, не содержащую глину, можно использовать через 1 ч с момента окончания её приготовления. Суспензию, содержащую глину, можно использовать спустя 24 ч с момента окончания приготовления суспензии.

Срок хранения приготовленной суспензии в закрытой ёмкости при температуре 12...24°C – до года.

С целью повышения термостойкости высушенную КО на основе жидкого стекла целесообразно на 2...3 мин после окончания сушки последнего слоя КО погрузить в водный раствор кислой соли, например, хлористого или сернистого алюминия. После обработки КО в фиксирующем растворе солей выплавление модельного состава из них можно проводить без сушки КО.

Пример 6.12. (Приготовление суспензии на подготовленном жидком стекле для второго и последующих слоёв КО, в том числе и для упрочняющих слоёв). Для приготовления суспензии необходимо:

1. Жидкое стекло разбавить водой до плотности 1,21...1,23 г/см³.
2. Подготовить жидкое стекло, повисив его модуль на 0,5...0,6 ед.
3. Отмерить необходимое количество компонентов суспензии (по массе):
 - стекла жидкого натриевого подготовленного – 35...45%;
 - ПМ (кварц пылевидного марки КП-1, КП-2, КП-3) – 55...65%;
 - вещества вспомогательного ОП-7 – 0,03...0,10% сверх 100%.

Допускается использование смеси, состоящей из 10...15% глины огнеупорной и 90...85% кварца пылевидного.

3. Залить подготовленное жидкое стекло и ОП-7 в бак мешалки, включить мешалку (частота вращения крыльчатки мешалки должна быть в пределах 1000...2800 об/мин).

4. После перемешивания в течение 1...2 мин засыпать кварц пылевидный.

5. Перемешивать в течение 30...40 мин до получения однородной суспензии.

6. Проверить и довести условную вязкость суспензии по вискозиметру ВЗ-4 до технологически необходимой (вязкость суспензии должна быть в пределах от 40 до 65 с).

Суспензию, не содержащую глину, можно использовать через 1 ч с момента окончания её приготовления. Суспензию, содержащую глину, можно использовать спустя 24 ч с момента окончания приготовления суспензии. Срок хранения приготовленной суспензии в закрытой ёмкости при температуре 12...24°C – до 3 мес.

Следует отметить, что, как правило, закрепляющий жидкостекляный слой (слои) наносят после выплавления из КО модельного состава, независимо от того, на каком связующем были выполнены все предыдущие слои КО и каким способом из КО выплавляют модельный состав.

В некоторых случаях для КО, у которых первые два слоя выполнены на основе ГРЭС с M=0,56...0,7 либо первый слой выполнен на основе жидкого стекла, а второй слой выполнен на основе ГРЭС с M=0,56...0,7, взамен двух упрочняющих слоёв на жидком стекле наносят один. В этом случае суспензия жидкостекляного слоя состоит из неподготовленного жидкого стекла плотностью 1,47...1,51 г/см³, воды, непрокалённого пылевидного кварца и крупного кварцевого песка. Состав такой суспензии приведен в табл. 6.32.

Таблица 6.32

Состав жидкостекляной суспензии

Компонент	Количество	
	на 10 л суспензии	на 10 л жидкого стекла
Жидкое стекло, л	5,3	10,0
Вода, л	1,17	2,2
Кварц пылевидный, кг	7,12	13,5
Кварцевый песок, кг	2,25	4,26

Вязкость суспензии, рецептура которой приведена в табл. 6.32, настолько высока, что не позволяет определить её, используя вискозиметр ВЗ-4. Толщина слоя огнеупорного покрытия на модельном блоке, выполненного по рецептуре табл. 6.32, составляет 1,8...2,5 мм. В связи с этим сушку данного слоя

проводят при температуре воздуха 32...34°C, скорости движения воздуха 3...5 м/с и относительной влажности воздуха до 65%, в течение 36...48 ч.

В основном, данную огнеупорную суспензию используют для изготовления КО, используемых для изготовления мелких отливок в условиях ручного нанесения огнеупорного покрытия на модельные блоки.

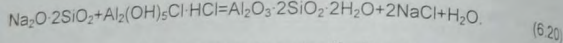
Как правило, в исходном жидком стекле содержится 9...10% (по массе) Na₂O. Обработка жидкого стекла в процессе подготовки хлористым аммонием или другими препаратами повышает его модуль, однако при этом в растворе остаётся NaCl, который также понижает прочность КО при высокой температуре.

В этих случаях, для понижения содержания Na₂O в КО, рекомендуется выплавление модельного состава из КО проводить в воде, каждый раз меняя воду для очередной партии выплавляемых блоков. Выплавление модельного состава в воде в течение 15 мин понижает содержание Na₂O в жидкостекляных слоях КО до 0,8...1,3%, а прокаливание КО в течение 2-х ч при 800...820°C позволяет понизить содержание Na₂O до 0,3...0,5% [12]. Тем не менее даже такого количества дву-

оксида натрия в КО в ряде случаев оказывалось достаточным, чтобы её прочность при высокой температуре понизилась до неприемлемых значений. В этих случаях для снижения негативного влияния Na_2O на свойства КО при высокой температуре проводят химическое закрепление слоев КО на жидкостекольном связующем.

Химическое закрепление слоев КО на жидкостекольном связующем изменяет их водородный показатель (рН), отверждая жидкое стекло необратимо. Для химического закрепления используют растворы с $\text{pH} \leq 4,5$. Технология химического закрепления состоит в том, что после сушки очередного слоя огнеупорного покрытия на воздухе блок на 2...7 мин погружают в 18...20%-ный водный раствор хлористого аммония (метод П.С. Першина), 30%-ный уксусный или этиленгликолевый раствор соляной кислоты, 27%-ный водный раствор уксусной кислоты (метод М.В. Сладковой), 27%-ный водный раствор хлористого алюминия, 12...25%-ный водный раствор сернокислого алюминия, хлористого кальция и т.п. В некоторых случаях хлористый аммоний вводят в обсыпочный материал (в кварцевый песок), в количестве 4% от массы песка [197].

Обработка жидкого стекла соляной кислотой или обработка КО водными растворами солей сказывается на свойствах КО как в прокаленном, так и непрокаленном состоянии. В частности, в результате химического взаимодействия силиката натрия, например с хлористым алюминием, в структуре КО образуется хлористый натрий и гидросиликат алюминия типа каолинита по реакции:



В процессе прокаливания КО, предварительно обработанных хлористым алюминием, образуются алюмосиликаты натрия ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), имеющие температуру плавления значительно более высокую, чем у Na_2O и являющиеся дополнительным связующим веществом жидкостекольных слоев КО.

На рис. 6.32 [193] представлены зависимости прочности КО от температуры, изготовленных на кварцевом песке, необработанном 1 и обработанном 2 соляной кислотой жидком стекле, а также КО, обработанных хлористым алюминием по различным технологическим схемам (3, 4). На этом же рис. 6.32 представлены dilatометрические кривые КО, изготовленных на основе необработанного жидкого стекла 1, и КО, обработанных хлористым алюминием 4.

Обработку жидкостекольных КО хлористым алюминием проводили по следующим технологическим схемам. В одном случае каждый слой огнеупорной суспензии на жидком стекле закрепляли в водном растворе хлористого алюминия непосредственно после обсыпки каждого слоя огнеупорной суспензии зернистым материалом (см. зависимость 3 на рис. 6.32). В другом случае все слои КО высушивали и только после этого КО обрабатывали хлористым алюминием (см. зависимость 4 на рис. 6.32). В последнем случае обработку жидкостекольной КО проводили в процессе выплавки из неё модельного состава в 27%-ном водном растворе хлорида алюминия при 95...100°C. При изготовлении всех образцов КО первый слой выполняли на основе гидролизованного раствора этилсиликата.

Зависимости, представленные на рис. 6.32, свидетельствуют о том, что при относительно низких температурах прочность КО, изготовленных на обработанном соляной кислотой жидком стекле 2, значительно ниже прочности КО, изготовленных на не обработанном соляной кислотой жидком стекле 1. Эта тенденция сохраняется до температуры полиморфного превращения кварцевого песка (573°C). При температурах более 600°C прочность образцов № 1 и № 2 резко понижается.

Более стабильной прочностью в интервале температур от 20°C до 1000°C обладают образцы № 3 и № 4, обработанные хлористым алюминием. При этом КО, обработанные водным раствором хлористого алюминия, после сушки (кривая 4) имеют прочность более высокую, чем образцы, полученные в результате послышной обработки водным раствором хлористого алюминия (кривая 3).

Анализ хода dilatометрических кривых, представленных на рис. 6.32 (сплошная линия — нагрев, пунктирная линия — охлаждение), свидетельствует о том, что у КО, изготовленных на основе жидкого стекла и обработанных хлористым алюминием, по окончании сушки последнего слоя КО (кривая 4) процесс спекания связующего происходит при температурах более 830°C. В то же время у КО, изготовленных на основе необработанного жидкого стекла (кривая 1), спекание связующего начинается при достижении 600°C, что, при дальнейшем нагреве КО, изменяет её расширение на усадку и является основной причиной нестабильности размеров отливок, получаемых в таких КО.

То есть для получения КО с достаточно высокой огнеупорностью и, следовательно, для получения отливок со стабильными размерами, жидкостекольные КО следует обрабатывать в растворе хлористого алюминия, а температуру прокаливания КО и температуру КО в момент заливки металлом (например, сталью, чугуном, медными сплавами и т.п.) поддерживать в пределах от 780 до 810°C. Для сравнения на рис. 6.32 представлена dilatометрическая кривая КО, изготовленной на основе кварцевого песка и ГРЭС (кривая 5).

Как было отмечено выше, помимо хлористого алюминия, для обработки жидкостекольных КО используют и другие материалы. В частности, с целью ускорения изготовления КО на основе жидкого стекла и повышения их прочности в горячем состоянии Е.Н. Евстифеев, Ю.С. Синошин и Ю.Л. Первозкин рекомендуют в качестве отвердителя последних слоев КО использовать 20...30% (по массе) водный раствор пиросульфата или бисульфата калия (а. с. СССР № 751495).

На некоторых предприятиях для химического закрепления жидкостекольных слоев КО используют водные растворы с кислыми свойствами, приготовленные на основе АХФ, АЖФ и т.п.

Недостаточно высокую огнеупорность КО на основе жидкого стекла повышают путём ввода в суспензию высокоглинозёмистых хромосодержащих щелочных отходов производства синтетического каучука, содержащих (по массе): 67...80% Al_2O_3 , 8...15% Cr_2O_3 , 2...10% SiO_2 и до 2% других примесей или 35...40% P_2O_5 , 4...5% Cr_2O_3 , 44...46% CaO , 7...8% Ni_2O_3 [207]. Использование в жидкостекольной суспензии этих отходов позволило авторам повысить прочность КО в непрокаленном состоянии с 8,5 МПа до 12 МПа, прочность при температуре 900°C — с 0,3 МПа до 3,5 МПа, а огнеупорность — с 870°C до 1500°C.

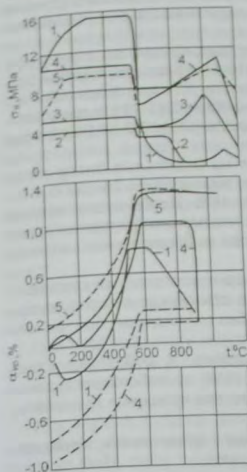


Рис. 6.32. Зависимость прочности КО от температуры и dilatометрические кривые КО

Обладая щелочными свойствами, гидроксидные суспензии склонны к пенообразованию в процессе их перемешивания. Вспенивание суспензии, недопустимое для изготовления первого (лицевого) слоя КО, в ряде случаев можно успешно использовать для повышения газопроницаемости и податливости КО, увеличения её термостойкости и трещиностойчивости [38].

Для достижения этих целей КО изготавливают с высокопористой структурой, для чего жидкостекольную суспензию вспенивают путём её продувки сжатым воздухом в течение 20...30 с. Для обеспечения устойчивости образующейся пены исходная суспензия должна иметь условную вязкость (по В3-4) 35...40 с и содержать (по массе): жидкого стекла – 40...50%, масла индустриального – 3,9...4,0%, кварца пылевидного – остальное.

Вспененную суспензию методом окунания наносят на модельные блоки, начиная со второго слоя. Сушку каждого слоя проводят при температуре 25...30°C в течение 2 ч при относительной влажности воздуха 40...45%. После сушки каждый слой закрепляют в течение 1 мин в водном растворе хлористого алюминия (плотность раствора 1,27 г/см³). Последний слой КО сушат при вышеуказанных условиях в течение 4...6 ч.

Суспензии на основе кремнезелей. Как и в случае приготовления суспензии на основе жидкого стекла, приготовление суспензии на основе кремнезеля осуществляют путём смешивания её исходных компонентов, без охлаждения, при частоте вращения крыльчатки мешалки 1000...2800 об/мин.

Поверхностно-активное вещество, в случае необходимости, добавляют в суспензию к окончанию её перемешивания. Замешивание ПАВ, во избежание вспенивания суспензии, проводят в течение 10...15 мин при частоте вращения крыльчатки мешалки 60...100 об/мин.

Пример 6.13. (Приготовление суспензии на основе кремнезеля, содержащего 40% SiO₂). Для приготовления суспензии необходимо:

1. Отмерить необходимое количество компонентов суспензии (по массе):
 - кремнезоль – 67%;
 - воды дистиллированной – 33%;
 - ПМ (кварца пылевидного марки КП-1, КП-2, КП-3 либо электрокорунда, либо дистен-силлиманита) – из расчёта наполнения огнеупорной суспензии до Н=2,5...2,7 кг/л пылевидным кварцем (при получении отливок общемашиностроительного назначения допускается использование глины огнеупорной в количестве 8...12% взамен кварца пылевидного), до Н=1,3...1,9 кг/л при использовании дистен-силлиманитового концентрата и до Н= 3,2...3,8 кг/л при использовании смеси микропорошков электрокорунда (микропорошки: М7 – 23...26%, М40 – 38...45% и М63 – 32...37%, по массе);
 - ПАВ (ОП-7, ОП-10, сульфолон) – 0,02...0,03% (сверх 100%).
2. В бак мешалки залить кремнезоль, дистиллированную воду. Включить мешалку, обеспечивающую частоту вращения крыльчатки не менее 1000 об/мин.
3. После перемешивания в течение 1...2 мин в бак мешалки порционно засыпать ПМ.
4. Перемешивать в течение 40...60 мин до получения однородной по консистенции суспензии.
5. Проверить и довести условную вязкость суспензии по вискозиметру В3-4 до технологически необходимой (условная вязкость для первого слоя КО – 60...85 с, для второго и последующих слоёв – 30...35 с).
6. Ввести ПАВ и перемешать в течение 10...15 мин при частоте вращения крыльчатки 60...100 об/мин.

Суспензию, не содержащую глину и приготовленную с использованием кварца пылевидного, можно использовать через 1...2 ч с момента окончания её приготовления. Суспензию, содержащую глину, можно использовать спустя 24 ч с момента окончания приготовления суспензии. Суспензия, приготовленную на основе дистен-силлиманита или порошков электрокорунда, рекомендуется использовать спустя 24 ч после непрерывного перемешивания в мешалке с вращающимся баком.

Срок хранения приготовленной суспензии в закрытой ёмкости при температуре 12...24°C – до 3 мес.

Пример 6.14. (Приготовление суспензии на основе кремнезеля, содержащего 20...22% SiO₂). Приготовление огнеупорных суспензий осуществляют с использованием прокалённого плавяного кварца, дистен-силлиманита или кварца пылевидного.

Суспензии готовят путём смешивания связующего и ПМ в соотношении 1:1,25 – при использовании дистен-силлиманита, 1:2 – при использовании кварца пылевидного (плавяного или кристаллического). Условная вязкость огнеупорной суспензии для первого слоя (по В3-4) 55...65 с, для второго и последующих слоёв – 30...35 с и менее.

Суспензии готовят в любых механических мешалках, обеспечивающих частоту вращения крыльчатки 1400...2800 об/мин. Длительность перемешивания суспензии – 1 ч.

При необходимости увеличения прочности КО на 20...25 % в суспензию вводят этилсиликат марки ЭТС-40 в количестве 10...15% от массы кремнезеля и перемешивают суспензию в течение 2-х часов.

Живучесть приготовленной суспензии – до 7 суток.

При необходимости, для улучшения смачиваемости суспензией, поверхность модельного блока обезжиривают этилцеллозольвом, спиртом этиловым или растворами ПАВ, либо модельный блок на 5...10 мин погружают в 10%-ный водный раствор гидроксида натрия, лития или калия.

Пример 6.15. (Приготовление суспензий на основе кремнезеля для изготовления комбинированной КО). В комбинированной КО два первых слоя выполняют на основе кремнезеля "Сиазит 20", а третий и последующие слои – на кремнезоль марки "Сиазит 30-5"[216].

Суспензии готовят в любых механических мешалках, обеспечивающих частоту вращения крыльчатки 2800 об/мин.

Для приготовления суспензии в бак мешалки вводят жидкие компоненты и, после включения мешалки, твёрдые компоненты суспензии. Длительность перемешивания суспензии – 1 ч.

А. Состав огнеупорной суспензии для первых слоёв огнеупорного покрытия (% по массе):

- смесь кварца пылевидного (КП-1) и глинозёма технического в соотношении 100 к 5...7, по массе, соответственно – 65...60;
- кремнезоль "Сиазит 20" – 35...40;
- сульфолон – 0,012 от массы кремнезеля.

Условная вязкость приготовленной суспензии – 85...90 с.

Б. Состав огнеупорной суспензии для третьего и последующих слоёв огнеупорного покрытия (% по массе):

- смесь кварца пылевидного (КП-1, КП-2) и глинозёма технического в соотношении 100 к 10...15, по массе, соответственно – 60...45;
- кремнезоль "Сиазит 30-5" – 40...55;

Условная вязкость приготовленной суспензии – 55...60 с.

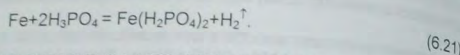
Суспензии на основе комбинированных связующих

Применение комбинированных связующих преследует цель полной или частичной замены этилсиликата на более дешёвые связующие, а также замены органических РР на воду.

Для достижения поставленной цели готовят водные суспензии (ВС), у которых часть двуокиси кремния от этилсиликата заменена на: двуокиси кремния (ВС), у которых часть связующее ВС-1-К), фосфорную кислоту (связующее ВС-2-Ф), фосфорную кислоту и двуокиси кремния от кремнезоля (связующее ВС-3-ФК), фосфорную кислоту и двуокиси кремния от кремнезоля (связующее ВС-3-ФК), фосфорную кислоту и фосфат (связующее ВС-4-АЖФ), алюмохромофосфат (связующее ВС-5-АХФ).

Комбинированные водные связующие, использующие ЭТС и фосфорную кислоту, готовят в быстроходных мешалках при избытке фосфорной кислоты на 10...15% (по массе) от расчётного количества или в среде, подкисленной соляной кислотой.

Необходимое количество фосфорной кислоты определяют по стехиометрическому уравнению:



где Fe – содержание железа в пылевидном наполнителе огнеупорной суспензии.

В результате взаимодействия железа с фосфорной кислотой образуются однозамещённые фосфаты, которые не только стабилизируют водородный показатель суспензии в пределах от pH=2,0 до pH=2,5, но и являются дополнительными связующими, обеспечивающим высокую прочность КО ($\sigma_{\text{и}}$ =12...15 МПа при 900°С).

В отличие от ВС-2-Ф, в суспензиях, приготовленных на основе ВС-4-АЖФ и ВС-5-АХФ, вместо фосфорной кислоты используют готовые связующие (АЖФ и АХФ), которые добавляют к этилсиликату в том же количестве, что и фосфорную кислоту.

Некоторые параметры комбинированных связующих типа ВС с кварцем пылевидным, свойства огнеупорных суспензий и КО, изготовленных на основе этих связующих, приведены в табл. 6.33 [153; 187; 215].

Свойства суспензий и КО

Тип огнеупорной суспензии	Содержание в связующем SiO ₂ из ЭТС, %, по массе	Живучесть суспензии, сут.	$\sigma_{\text{и}}$ при 900°С, МПа
ВС-1-К	6-9	4-6	8-10
ВС-2-Ф	9-14	5-7	12-14
ВС-3-ФК	6-9	5-7	-
ВС-4-АЖФ	8-10	6	7,5
ВС-5-АХФ	8-10	≥8	7,0

Таблица 6.33

В работе [215] с целью снижения расхода этилсиликата и органического растворителя рекомендуется суспензия следующего состава (по массе): 20...25% ЭТС-40, 32...35% органического растворителя, 5% АХФ, 0,5...1,2% H₂SO₄, 0,1% ПАВ. Водородный показатель приготовленного раствора регулируют содержанием в нём серной кислоты и поддерживают в пределах от 1,5 до 2,0. Живучесть приготовленной суспензии составляет более 8 суток, а прочность КО в результате сушки в потоке воздуха каждого слоя достигает 5...6,5 МПа после выплавления модельного состава в воде, и 7,5...11,0 МПа после выплавления в модельном составе.

Исследуя возможность получения КО с использованием АЖФ, авторы работы [187] самостоятельно изготавливали АЖФ и использовали его для приготовления суспензии на водном этилсиликатном связующем. АЖФ изготавливали в водоохлаждаемом реакторе из нержавеющей стали путем растворения алюминиевой и же-

лезной стружки в ортофосфорной кислоте плотностью 1,335 г/см³ с последующим смешиванием полученных растворов. В результате смешивания в растворе содержалось (по массе): 5...8% Al₂O₃, 4...8% Fe₂O₃, 40...60% P₂O₅.

Суспензию готовили в мешалке с частотой вращения крыльчатки 1400 об/мин. Приготовленная суспензия содержала (по массе): 8% SiO₂ из ЭТС-40, 20% АЖФ, 60% воды и 1% HCl (по отношению к количеству воды), наполнение суспензии пылевидным кварцем H=2,3 кг/л. Приготовленная суспензия имела условную вязкость (по ВЗ-4) 43 с, водородный показатель pH=2...2,4 и живучесть – 6 дней при температуре хранения 10°С.

По данным авторов, изготовленные на данной суспензии КО, имели прочность $\sigma_{\text{и}}$ = 10,46 МПа после сушки и $\sigma_{\text{и}}$ = 7,48 МПа при 900°С. Газопроницаемость КО после прокаливания в 5,5...11 раз выше, чем у КО, изготовленных на основе водной этилсиликатной суспензии.

Следует отметить, что, как и в случае использования АЖФ, использование АХФ в составе огнеупорной суспензии для первых слоёв КО приводит к насыщению поверхностных слоёв стальных отливок фосфором на глубину до 1 мм. Исследования качества отливок из углеродистой стали [187], изначально содержащей 0,036% фосфора, свидетельствует о том, что применение АХФ в первых слоях КО привело к увеличению содержания фосфора в поверхностном слое отливки до 0,098%, на расстоянии от поверхности отливки 0,02 мм – до 0,084%, а на расстоянии 0,2...1,0 мм от поверхности отливки – до 0,046%. Во избежание насыщения металла отливки фосфором, авторы [187] рекомендуют выполнять первый слой КО на основе этилсиликатной суспензии без использования фосфорсодержащих компонентов.

Пример 6.16. Приготовление суспензии с использованием этилсиликата и кремнезоля. Связующее ВС-1-К. Использование кремнезоля как самостоятельного связующего для изготовления КО с небольшим количеством слоёв огнеупорного покрытия на блоке осложняется невысокой прочностью получаемых КО [95; 293 и др.]. В частности, исследуя свойства КО, изготовленных на основе кремнезоля марки Siton X-30 фирмы Monsanto, кварца пылевидного и кварцевого песка, авторы работы [95] установили, что предел прочности на изгиб "сырых" образцов КО, высушенных на воздухе при температуре 19...21°С и влажности 45...55%, не превышает 2,0...2,3 МПа. В то же время КО, изготовленные на основе этилсиликата, диспергированного в воде (водное связующее), при тех же условиях имеют прочность $\sigma_{\text{и}}$ = 5...7 МПа.

На рис. 6.33 представлены зависимости предела прочности КО от содержания SiO₂ в суспензии, приготовленной на основе кремнезоля:

- после нанесения огнеупорного покрытия на модельный блок (зависимость 2);
- после выплавления модельного состава из КО в воде (зависимость 3);
- после прокаливании КО при 900°С (зависимость 4), а также изменения величины наполнения суспензии пылевидным кварцем (зависимость 1) для получения суспензий с одинаковой величиной условной вязкости (30...45 с по ВЗ-4).

Зависимости, представленные на рис. 6.33, свидетельствуют о том, что максимальной прочностью обладают КО (зависимость 2), изготовленные из суспензий,

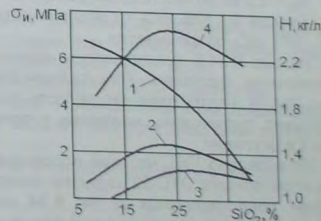


Рис. 6.33. Зависимость предела прочности КО от содержания SiO₂ в суспензии (от кремнезоля)

содержащих 20...25% SiO₂ от кремнезёла. При этом, прокалённые КО (зависимость 4) имеют значительно большую прочность, чем непрокалённые (зависимость 2). Кроме того, выплавление модельного состава в воде приводит к значительному понижению прочности КО (зависимость 3).

Достижимая прочность "сырых" КО на кремнезёле недостаточна для получения отливок в условиях автоматизированного производства КО. В связи с этим авторы работы [95] провели исследования, направленные на повышение прочности КО путём совместного использования кремнезёла с этилсиликатом, а также кремнезёла с этилсиликатом и фосфатами.

В исследованиях системы этилсиликат – кремнезоль готовили водные суспензии, для чего кремнезоль разбавляли водой до определённой концентрации двуокиси кремния и, при непрерывном перемешивании, добавляли в раствор соляную кислоту из расчёта получения раствора с pH=1...2. В полученный кислый золь вводили пылевидный кварц и вливали этилсиликат (ЭТС-40). Перемешивание суспензии производили в течение 40...60 мин. С целью обеспечения смачиваемости суспензией поверхности модельного блока в раствор вводили 0,1% метауона.

Сушку первого и второго слоёв образцов КО проводили при 19...21°C в течение 2-х часов, третий слой сушили в течение 14 ч (сушку проводили при влажности воздуха 45...55%).

Результаты исследований [95] представлены на рис. 6.34,а, где изображены изолинии предела прочности "сырых" КО при статическом изгибе (от 1 до 8 МПа) при различном содержании SiO₂ в суспензии от кремнезёла и этилсиликата.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 6.34,а, показывает, что для достижения максимальной прочности "сырых" КО $\sigma_H = 8,2$ МПа необходимо обеспечить в зольном 9...10% SiO₂ от этилсиликата и 4...16% SiO₂ от кремнезёла.

На рис. 6.34,б представлены изолинии наполнения суспензии ПМ (пылевидным кварцем), а заштрихованная область соответствует суспензиям, наиболее устойчивым к коагуляции.

Установлено [95], что при использовании этилсиликата ЭТС-32 характер зависимостей, представленных на рис. 6.34, аналогичен характеру зависимостей для этилсиликата марки ЭТС-40, но при этом, прочность у КО, изготовленных на основе ЭТС-40, ниже на 20...40%.

Аналогичные зависимости повышения прочности КО установлены и для связующих этилсиликат – кремнезоль – фосфаты (связующее ЭФК), приготовленных совмещённым способом. При этом, наибольшая прочность непрокалённых КО, изготовленных на основе ЭФК, составляет $\sigma_H = 4,5...5,5$ МПа.

Пример 6.17. (Приготовление суспензии на основе этилсиликата и кремнезёла). Приготовление суспензии на основе этилсиликата и кремнезёла проводят в воздухоохлаждаемом баке, с частотой вращения крыльчатки мешалки 2800 об/мин.

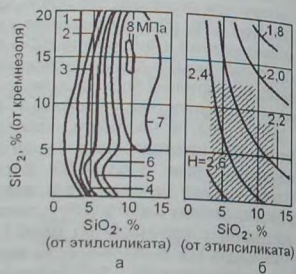


Рис. 6.34. Изолинии прочности КО при различном содержании в суспензии SiO₂ от кремнезёла и этилсиликата (а) и изолинии наполнения суспензии пылевидным кварцем с указанием области наиболее устойчивых суспензий к коагуляции (б)

Для приготовления суспензии необходимо:

1. Отмерить необходимое количество компонентов суспензии (по массе):
- этилсиликата (ЭТС-40) – 20%;
- кремнезёла (содержание в кремнезёле SiO₂ – 40%) – 30%;
- воды дистиллированной – 50%;
- кислоты соляной – 0,5...0,6% (сверх 100% жидкой составляющей);
- кислоты ортофосфорной – 2% (сверх 100% жидкой составляющей);
- ПМ (кварца пылевидного марки КП-1, КП-2, КП-3) – из расчёта 2,5...2,6 кг на 1 л жидкой составляющей суспензии;
- ПАВ (ОП-7, ОП-10, метауона или контакта Петрова) – 0,05...0,1% от общей массы суспензии.
2. Проверить температуру исходных материалов (температура исходных материалов должна быть не ниже 14...17°C).
3. В установку для приготовления суспензии залить воду дистиллированную, кислоту соляную и ортофосфорную, ПАВ, кремнезоль.
4. Включить мешалку и через 1..2 мин порционно засыпать в бак пылевидный кварц (из расчёта 80% от расчётного количества). Перемешивать суспензию до полного исчезновения комков кварца пылевидного (20...30 мин).
5. Залить этилсиликат.
8. Засыпать остаток навески кварца пылевидного.
9. Перемешивать раствор в течение 45...60 мин (до достижения суспензией температуры 18...22°C).

В процессе гидролиза температуру суспензии регулируют путём охлаждения бака мешалки проточной водой. Замер температуры суспензии проводят через 20 мин после начала перемешивания. При этом температура суспензии должна быть в пределах от 32 до 34°C. Через 40 мин после начала перемешивания включают охлаждение бака мешалки.

10. Проверить и довести условную вязкость суспензии по вискозиметру ВЗ-4 до технологически необходимой (Вязкость суспензии для первого слоя огнеупорного покрытия – 45...65 с, для второго и последующих слоёв – 30...35 с).

Срок хранения суспензии в закрытой ёмкости при 18...22°C – до 6 суток.

Пример 6.18. (Приготовление суспензии с использованием этилсиликата и фосфорной кислоты. Связующее ВС-2-Ф). Для приготовления суспензии необходимо:

1. Отмерить необходимое количество компонентов суспензии (по массе):
- этилсиликата (ЭТС-40) – 48%;
- ортофосфорной кислоты – 20%;
- воды дистиллированной – 32%;
- ПМ (кварца пылевидного марки КП-1, КП-2, КП-3) – из расчёта 2,5...2,6 кг на 1 л жидкой составляющей суспензии;
- ПАВ (ОП-7, ОП-10) – 0,05...0,1% от общей массы суспензии.
2. В бак мешалки влить необходимое количество воды, включить мешалку.
3. Влить фосфорную кислоту (при отсутствии избытка фосфорной кислоты воду подкислить соляной кислотой).
4. Влить ПАВ и засыпать 60...70% расчётного количества кварца пылевидного.
5. Суспензию перемешивать до получения однородного по консистенции состояния.
6. Влить ЭТС и добавить оставшуюся часть кварца пылевидного.
7. Перемешивать суспензию в течение 50...60 мин.
8. Проверить и довести условную вязкость суспензии по вискозиметру ВЗ-4 до технологически необходимой. (Вязкость суспензии для первого слоя огнеупорного

покрытия — 50...65 с, для второго и последующих слоев огнеупорного покрытия — 30...35 с).

Срок хранения суспензии в закрытой емкости при 18...22°C — до 5...7 суток.
Последовательность операций приготовления суспензий на основе связующих ВС-3-Ф, ВС-4-АХФ и ВС-5-АХФ аналогична последовательности операций для приготовления суспензии на основе связующего ВС-2-Ф.

Следует отметить, что помимо комбинированных связующих систем ЭТС-кремнезоль и ЭТС-фосфаты, известны связующие систем ЭТС-жидкое стекло, АХФ-жидкое стекло, АХФ-кремнезоль и др.

Пример 6.19. (Приготовление суспензии на основе АХФ и жидкого стекла). Для изготовления КО авторы [111] использовали жидкое стекло системы АХФ-жидкое стекло, содержащую (по массе): 12% АХФ; 6,5% жидкого стекла; 1,3% серной кислоты; 18% воды; 62,2% кварца пылевидного; 0,1% контакта Петрова.

Для приготовления данной огнеупорной суспензии следует отмерить необходимые количества компонентов, после чего выполнить следующие технологические операции.

1. В бак мешалки влить воду и жидкое стекло, включить мешалку и охлаждение бака.
2. Влить серную кислоту и перемешивать в течение 2...3 мин.
3. Влить АХФ и перемешивать в течение 4...5 мин.
4. Засыпать пылевидный кварц, влить ПАВ (контакт Петрова) и перемешивать 40...50 мин до получения однородной по консистенции суспензии.
5. Отключить охлаждение бака, прекратить перемешивание суспензии.
6. Условную вязкость суспензии довести до 55...62 с, по вискозиметру ВЗ-4.

Суспензия на основе оксисоли. Огнеупорные суспензии, приготовленные на основе оксисоли, характеризуются низкой живучестью, в связи с чем их приготовление и хранение осуществляют при пониженной температуре.

Пример 6.20. Для приготовления суспензии на основе оксисоли используют, например, спиртовой или ацетоновый раствор оксидида хрома, содержащий 120...180 г/л окиси хрома [161]. В качестве пылевидного наполнителя суспензии используют хромитопериклаз или хромистый железняк, предварительно просеянный через сито с ячейкой 0,04 мм. Величина наполнения суспензии ПМ должна составлять $H=2,5...3,0 \text{ кг/л}$.

Для приготовления суспензии навески вышеперечисленных материалов вводят в охлаждаемый бак мешалки и проводят их перемешивание до получения суспензии, однородной по консистенции. По окончании перемешивания, во избежание быстрого (в течение 10...15 мин) твердения, приготовленную суспензию охлаждают до температуры 0...-5°C.

Охлаждение приготовленной суспензии до указанной температуры обеспечивает её живучесть в течение 8...10 ч с момента окончания приготовления.

Для нанесения огнеупорного покрытия модельный блок окунают в холодную суспензию и обсыплют зернистым материалом. Скорость твердения одного слоя на воздухе при комнатной температуре составляет 15...20 мин. По прошествии указанного времени технологические операции окунания блока в огнеупорную суспензию и обсыпки блока огнеупорным зернистым материалом — повторяют.

Области применения огнеупорных суспензий. Использование той или иной огнеупорной суспензии для изготовления КО диктуется условиями производства литья, требованиями к качеству отливок, физико-химическими свойствами сплава отливки и т.п. В табл. 6.34 и табл. 6.35 приведены рекомендуемые области применения огнеупорных суспензий для изготовления первого и последующих слоев КО соответственно.

Таблица 6.34
Рекомендуемые области применения связующих материалов, используемых для изготовления первого слоя КО

Связующее вещество	Сплав отливки							
	Сталь			чугун	никелевые и кобальтовые жаропрочные сплавы	медные сплавы	алюминиевые сплавы	магниевого сплавы
	углеродистая, низко- и среднеуглеродистая	марганцовистая (Mn≥1%)	Высоколегированные (кроме марганцовистых)					
ГРЭС (M=0,21-0,25)	+		+	+	+	+	+	+
ГРЭС (M=0,50-0,65)	+	+	+	+	+	+	+	+
ГРЭС (M=0,85-1,20)	+						+	+
Жидкое стекло (НП)	+			+	+	+	+	+
Жидкое стекло (П)	+			+	+	+	+	+
Кремнезоль	+		+	+	+	+	+	+
Кремнезоль+жидкое стекло (НП)	+		+	+	+	+	+	+
Кремнезоль+ ЭТС	+		+	+	+	+	+	+
Жидкое стекло (НП) + ЭТС	+		+	+	+	+	+	+
Жидкое стекло (П) +АЖФ							+	+

Примечание. НП и П — неподготовленное и подготовленное жидкое стекло соответственно.

Таблица 6.35
Рекомендуемые области применения связующих материалов, используемых для изготовления второго и последующих слоев КО

Связующее вещество	Сплавы отливок														
	сталь			жаропрочные никелевые и кобальтовые			медные			алюминиевые			магниевого		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ГРЭС (M=0,21-0,25)	+	+	+	+	+	+	+	+	+						
ГРЭС (M=0,50-0,65)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ГРЭС (M=0,80-1,20)	+									+	+	+	+	+	+
Жидкое стекло (НП)	+									+	+	+			
Жидкое стекло (П)	+									+	+	+			
Кремнезоль	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Кремнезоль+жидкое стекло	+									+	+	+			
Кремнезоль+ ЭТС	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Жидкое стекло (НП) + ЭТС	+									+	+	+			
Жидкое стекло (П) +АЖФ										+	+	+			

Примечание. НП и П — неподготовленное и подготовленное жидкое стекло соответственно.

вязкости суспензии не менее $V_{с1} = 26$ с и со средним размером частиц до $d=0,24$ мм при $V_{с1}$ не менее 57 с.

Использование более крупных фракций обсыпного зернистого материала при указанных значениях условной вязкости огнеупорной суспензии, приводит к образованию на поверхности отливок дефекта "сыпь". То есть, используя номограмму, приведенную на рис. 6.35,а, можно подобрать соответствующую вязкость и фракцию обсыпного зернистого огнеупорного материала, сочетание которых позволит избежать образования на поверхности отливок дефекта "сыпь" и обеспечить заполнение и суспензией, и обсыпным зернистым огнеупорным материалом соответствующих щелевых полостей и "карманов" модели отливки.

Используя номограмму, представленную на рис. 6.35,б, определяют условную вязкость и среднюю величину частиц (фракцию) зернистого материала для обсыпки второго слоя огнеупорного покрытия КО. Например, для $\Delta=5$ мм по номограмме, представленной на рис. 6.35,а, находим, что рекомендуемая величина условной вязкости огнеупорной суспензии на второй слой покрытия модельного блока (см. на рис. 6.35,б поле № 1) может составлять ~32 с, а размер частиц основной фракции зернистого огнеупорного материала (см. на рис. 6.35,б поле № 2) ~0,31 мм.

Для обсыпки третьего и последующих слоёв огнеупорного покрытия на модельном блоке используют зернистый материал со средним размером частиц 0,315... 0,4 мм.

В случае, если в модели отливки отсутствуют узкие протяжённые "карманы" и полости ($\Delta \geq 5$ мм), для выполнения первого слоя КО используют огнеупорную суспензию с условной вязкостью 42...60 с и зернистый огнеупорный материал со средней величиной частиц до 0,2 мм. Для обсыпки второго и последующих слоёв КО в этом случае используют зернистый огнеупорный материал со средним размером частиц 0,315...0,4 мм при условной вязкости огнеупорной суспензии 28...35 с.

В настоящее время для обсыпки модельных блоков зернистым материалом, в основном, используют два способа – дождевой (гравитационный) или в кипящем слое. При дождевом (гравитационном) способе обсыпки зерна огнеупорного материала в пескосыпах элеваторного типа под действием гравитации сверху вниз подают на блок, который вручную или автоматически поворачивают всеми сторонами к падающему зернистому материалу. Зёрна огнеупора, попадая на поверхность блока, прилипают к суспензии, формируя слой КО.

Обсыпку модельных блоков дождевым способом осуществляют на установках самых разнообразных конструкций, в том числе и вручную, если обсыпают блок относительно небольших размеров, в условиях единичного производства отливок. В условиях мелкосерийного, серийного и массового производства литья для обсыпки блоков используют установки элеваторного типа с подачи зернистого огнеупора транспортёрной лентой, оснащённой лотками, или пневмоподачей, а также установки барабанного типа.

Гравитационный пескосып элеваторного типа (см. рис. 6.36, где обозначены: 1 – модельный блок, 2 – сито, 3 – рабочий бункер, 4 – барабан, 5 – элеватор) представ-

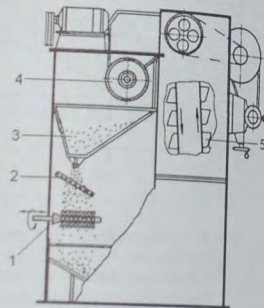


Рис. 6.36. Схема гравитационного пескосыпа элеваторного типа с транспортёрной лентой, оборудованной лотками

ляет собой сварную раму, внутри которой расположен рабочий бункер с зернистым материалом, сито, ковшевой элеватор и барабан.

Для обсыпки модельный блок помещают под сито, через которое из бункера сыплется зернистый материал и во время обсыпки, в потоке зернистого материала, поворачивают различными сторонами. Не прилипший к блоку зернистый материал ссыпается в нижний бункер, откуда, элеватором доставляется в рабочий бункер для повторного использования.

Гравитационный пескосып элеваторного типа с пневмоподачей зернистого материала (см. рис. 6.37, где обозначены: 1 – модельный блок, 2 – короб для отходов, 3 – насос, 4 – сито, 5 – заслонка, 6 – сопло, 7 – рабочий бункер, 8 – клапан, 9 – бункер разрежения) представляет собой сварной каркас, внутри которого размещён рабочий бункер с определённым запасом обсыпного материала. В нижней части бункера выполнено сопло (короткая труба) с заслонкой. Под соплом расположен рассекатель песка, а под ним – сито. При обсыпке модельного блока открывают заслонку и из рабочего бункера через сопло, рассекатель и сито обсыпный материал рассеянным потоком сыплется на модельный блок. Во время обсыпки модельный блок поворачивают различными сторонами. Не прилипший к блоку обсыпный материал ссыпается в нижний бункер, откуда пневмоподачей, доставляется в бункер разрежения для повторного использования. В рабочий бункер обсыпный материал попадает порционно, по мере необходимости, через клапан из бункера разрежения.

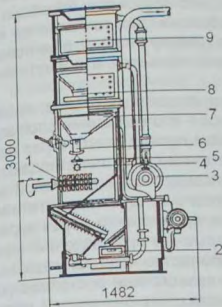


Рис. 6.37. Схема гравитационного пескосыпа элеваторного типа с пневмоподачей зернистого материала

Принципиальная схема и общий вид барабанной установки элеваторного типа, для проведения обсыпки блоков дождевым способом, представлены на рис. 6.38.



Рис. 6.38. Принципиальная схема (а) и общий вид (б) барабанной установки элеваторного типа: 1 – зонт вытяжной, 2 – барабан, 3 – каркас, 4 – редуктор понижающий, 5 – электродвигатель, 6 – ролик, 7 – сетка, 8 – лопатка, 9 – модельный блок

Принцип работы барабанного пескосыпа состоит в том, что для обсыпки модельный блок помещают внутрь вращающегося барабана (цилиндра) пескосыпа.

При вращении цилиндра песок, находящийся в нём, подхватывается лопатками, расположенными на внутренней поверхности барабана, и поднимается вверх. Досетку, проходя которую попадает на модельный блок непрерывности лопаток на потоком. Песок, не прилипший к поверхности модельного блока, сыпается вниз и, проходя через нижнюю часть этой же сетки, вновь попадает на лопатки барабана.

Существенным недостатком дождевого способа обсыпки блоков является неаправленность движения зёрен обсыпного материала (сверху вниз), что не всегда позволяет выполнить качественную обсыпку внутренних полостей и поднутрений модели.

Недостатка, присущего дождевому способу обсыпки модельных блоков, лишён способ кипящего слоя. Кипящий (псевдооживленный) слой – это состояние слоя зернистого сыпучего материала, при котором, под влиянием проходящего через него снизу вверх потока воздуха (газа) частицы материала интенсивно перемещаются относительно друг друга. В этом состоянии кипящий (псевдооживленный) слой напоминает кипящую жидкость, а его поведение описывается законами гидростатики.

Как правило, эффект кипящего слоя создают путём пропускания через зернистый материал осушенного сжатого воздуха. При непрерывном прохождении через слой сыпучего зернистого материала определенного количества воздуха в единицу времени частицы зернистого материала переходят во взвешенное состояние (кипящий слой). Такое состояние зернистого материала позволяет без усилий погрузить в кипящий слой и извлечь из него модельный блок, предупреждая существенную деформацию или разрушение моделей и модельного блока.

Принципиально конструкция пескосыпа с кипящим слоем представляет собой бак, заполненный сухим зернистым огнеупорным материалом (см. рис. 6.39).

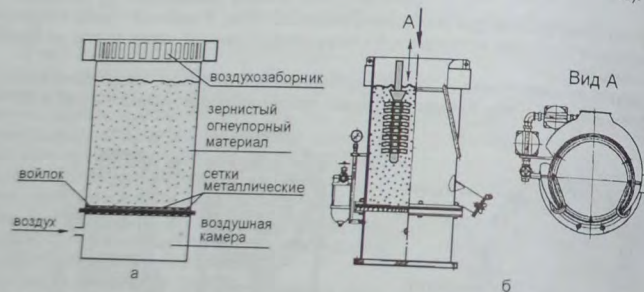


Рис. 6.39. Принципиальная схема (а) и общий вид (б) установок для обсыпки модельных блоков зернистым огнеупорным материалом в кипящем слое

В нижней части бака, между его рабочим пространством и днищем, установлены стальные сетки, между которыми расположен войлок. Под сетками, на которые насыпан слой зернистого материала, располагается воздушная камера пескосыпа. Для создания эффекта кипящего слоя через патрубок в воздушную камеру пескосыпа подают сухой, сжатый воздух. Проходя через металлические сетки и слой войлока, воздух переводит частицы зернистого материала, находящиеся в рабочем пространстве пескосыпа, во взвешенное состояние. В верхней части пескосыпа, по периметру его верхней кромки, выполнен воздухозаборник, улавливающий выле-

видные частицы, выделяющиеся из зернистого материала, находящегося в состоянии кипящего слоя.

Для обсыпки модельных блоков в кипящем слое используют пескосыпы собственной конструкции и пескосыпы, выпускаемые специализированными предприятиями, например, пескосыпы мод. 64Т132, мод. 9191 и др. (см. Приложение 4).

Для обсыпки в кипящем слое модельный блок, после извлечения из огнеупорной суспензии, медленно погружают в бак пескосыпа с зернистым огнеупором, поворачивают блок в разные стороны относительно его вертикальной оси, и, спустя 2...5 с, извлекают из пескосыпа. Обсыпанный блок направляют на сушку.

В некоторых случаях, в условиях мелкосерийного производства литья, при нанесении второго и последующих слоёв огнеупорного покрытия модельный блок погружают в кипящий слой пескосыпа и на несколько секунд прекращают подачу воздуха в пескосып. В результате этого зернистый материал теряет свою подвижность и, оседая, уплотняется вокруг погруженного в него блока. После 2...5-секундной выдержки подачу воздуха в пескосып возобновляют и извлекают модельный блок из пескосыпа. Использование данного метода позволяет не только увеличить толщину наносимого слоя покрытия, но и существенно (на 15...35%) повысить прочность КО в целом.

Одним из недостатков пескосыпов с кипящим слоем является периодическое образование значительных воздушных скоплений ("пузырей") в обсыпном материале. Наличие таких скоплений может явиться причиной ударов обсыпного материала о поверхность модельного блока, что неблагоприятно сказывается как на сохранении целостности самого модельного блока, так и на качестве получаемой КО. Во избежание этого, конструкцией некоторых пескосыпов с кипящим слоем предусмотрена установка вибратора для осуществления вибрации корпуса установки, что устраняет образование значительных воздушных скоплений в объёме кипящего слоя.

Пескосыпы с кипящим слоем нашли самое широкое распространение в цехах литья по выплавляемым моделям благодаря простоте своей конструкции, удобству обслуживания и низкому расходу электроэнергии.

В отличие от дождевого способа, для обсыпки в кипящем слое необходимо использовать огнеупорные материалы с сосредоточенной зерновой структурой. Данное требование обусловлено тем, что при создании кипящего слоя более мелкие частицы зернистого материала "выносятся" потоками сжатого воздуха в верхнюю часть слоя, ухудшая свойства и дестабилизируя качество изготавливаемых КО.

Пескосыпы используют как самостоятельное оборудование, так и в составе агрегатов, роботизированных комплексов и автоматизированных линий для нанесения огнеупорного покрытия на модельные блоки (см. Приложение 4). При этом, независимо от способа обсыпки, используемые зернистые материалы должны быть сухими и иметь температуру, равную температуре модельного блока.

Количество наносимых на модельный блок слоёв огнеупорного покрытия от 3-х до 12-ти и более. Как правило, при количестве слоёв КО более четырёх последний слой КО зернистым материалом не обсыпают. Такой приём уменьшает вероятность засорения КО частицами зернистого материала при выплавлении модельного состава из КО в воде и при манипуляциях с КО.

Количество слоёв огнеупорного покрытия, наносимое на модельный блок, зависит от достаточно большого числа параметров и факторов. В первом приближении толщина стенки КО (мм), обеспечивающую достаточную прочность КО, изготовленной на основе кварцевого песка и заливаемой без опорного наполнителя, можно рассчитать по эмпирическому уравнению [233]:

$$X_2 = 3,65 + 1,45 \left(\frac{0,1 \cdot \sqrt{H_p} + 0,25 \cdot M}{(\sigma_s')^{0,75}} \right) \quad (6.22)$$

где H_p – высота металлостатического напора в залитой КО, мм; M – масса металла в КО, кг; σ_s' – предел прочности КО при статическом изгибе при температуре заливки КО (t_z), МПа.

Если для прокаливании и заливки КО формуют в сыпучий мелкозернистый опорный наполнитель, то толщину КО, вычисленную по уравнению (6.22), можно уменьшить на 25...35%.

Вычислив величину X по уравнению (6.22), не сложно рассчитать количество наносимых на модельный блок слоёв огнеупорного покрытия, зная среднюю толщину одного слоя огнеупорного покрытия.

Пример 6.21. Рассчитать минимально допустимое количество слоёв КО при высоте КО (от зумпфа до верхней кромки ЛВ) $H_p = 380$ мм, металлоёмкости КО $M = 17$ кг, пределе прочности КО при статическом изгибе при 950°C $\sigma_{si} = 6,5$ МПа.

По формуле (6.22) рассчитываем минимально допустимую величину толщины стенок КО:

$$X_2 = 3,65 + 1,45 \left(\frac{0,1 \cdot \sqrt{H_p} + 0,25 \cdot M}{0,75 \sigma_s'} \right) = 3,65 + 1,45 \left(\frac{0,1 \cdot \sqrt{380} + 0,25 \cdot 17}{0,75 \cdot 6,5} \right) = 5,85 \text{ мм.}$$

Если средняя толщина одного слоя огнеупорного покрытия КО составляет $X_c = 0,85$ мм, то на модельный блок следует нанести

$$n = \frac{X}{X_c} = \frac{5,85}{0,85} = 6,88 \approx 7 \text{ слоёв огнеупорного покрытия.}$$

Достаточно большое разнообразие связующих материалов, используемых для изготовления КО, соответственно, предопределило разнообразие схем (последовательностей) использования огнеупорных суспензий с тем или иным связующим веществом, а также количество слоёв огнеупорного покрытия на блоке.

Выбор той или иной схемы нанесения слоёв огнеупорного покрытия при изготовлении КО осуществляют исходя из данных о прочности и термостойкости используемой КО, требований к качеству отливки, металлоёмкости и габаритных размеров КО, способа формовки КО под прокаливание и заливку, характера производства литья и т.п.

При этом для отливок особо ответственного (специального) назначения КО изготавливают с относительно большим числом слоёв огнеупорного покрытия, выполненных, как правило, с использованием одного связующего материала, независимо от способа подготовки КО под прокаливание. КО для отливок общемашиностроительного назначения, как правило, изготавливают комбинированными, выполняя различные слои КО с использованием различных по природе связующих материалов и относительно небольшим количеством огнеупорных слоёв.

Выбор того или иного связующего материала, а также наполнителя и обсыпного материала осуществляют на основе их свойств, свойств заливаемого в КО сплава, габаритных размеров КО, способа подготовки КО к заливке и требований к качеству изготавливаемых отливок.

Наиболее распространённые схемы (последовательность) нанесения слоёв огнеупорного покрытия на модельные блоки приведены в табл. 6.36

Таблица 6.36
Схемы нанесения слоёв огнеупорного покрытия на модельные блоки

Условный номер схемы	Химические свойства огнеупорной суспензии, используемой для слоя №:							Химические свойства огнеупорной суспензии и её связующее вещество		Группа сложности отливок (ГОСТ 977-88)
								к (кислые)	щ (щелочные)	
	1	2	3	4	5	6	7 и т.д.			
1	к	к	к	к	к	к	к	ГРЭС		1, 2, 3
2	к	к	к	к	к	к	-	ГРЭС		1, 2, 3
3	к	к	к	к	щ	к	щ	ГРЭС	ЖС	1, 2, 3
4	к	к	к	к	щ**	-	-	ГРЭС	ЖС	1, 2, 3
5	к	к	к	к	щ**	-	-	ГРЭС	ЖС	1, 2
6	к	к	к	щ**	-	-	-	ГРЭС	ЖС	1, 2
7	щ	к	щ**	-	-	-	-	ГРЭС	ЖС	1
8	щ	к	щ	к	-	-	-	ГРЭС	ЖС	1
9	щ	к	щ	щ**	-	-	-	ГРЭС	ЖС, Кр	1, 2
10	щ	к	к	к	-	-	-	ГРЭС	ЖС, Кр	1, 2
11	щ	к	к	к	к	щ**	-	ГРЭС	ЖС, Кр	1, 2, 3
12	щ*	щ	к	к	к	к	к	ГРЭС	Кр, ЖС**	1, 2, 3
13	щ	щ	щ	к	к	к	к	ГРЭС	Кр	1, 2, 3
14	щ	к	щ	к	к	к	к	ГРЭС	ЖС, Кр	1, 2, 3
15	щ*	к	щ	к	щ	к	щ**	ГРЭС, АХФ и др.	ЖС	1
16	щ*	щ	щ	щ	щ**	-	-		Кр, ЖС*	1, 2, 3
17	щ*	щ	щ	щ	щ**	-	-		Кр, ЖС*	1, 2, 3
18	щ	щ	щ	щ	щ	щ	щ**		Кр	1, 2, 3

Примечание. ЖС – жидкостекольное связующее, Кр – кремнезоль, * – первый жидкостекольный слой КО необходимо химически закрепить, ** – последний жидкостекольный слой КО необходимо химически закрепить, если выплавление модельного состава из КО проводят в воде или водяном паре. Соответственно, последний жидкостекольный слой КО химически не закрепляют, если его наносят после выплавки модельного состава из КО.

Таким образом, в результате повторения технологических операций окунания блока в огнеупорную суспензию, обсыпки его зернистым огнеупорным материалом и сушки каждого нанесённого на блок слоя, формируется тело многослойной КО. В зависимости от условий работы КО и требований к ней, способа подготовки КО к прокаливанию и заливке, а также свойств используемого сплава отливки, стенки многослойной КО могут иметь самую различную структуру. Наиболее распространённые типы структур стенок КО, схематично, представлены на рис. 6.40.

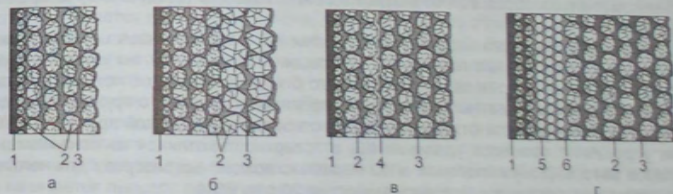


Рис. 6.40. Схемы структур стенок прокалённых КО: 1 – затвердевшая суспензия первого (лицевого) слоя КО; 2 – зернистый огнеупорный материал; 3 – затвердевшая суспензия; 4 – воздушный зазор; 5 – воздушные полости буферного слоя; 6 – затвердевшая суспензия буферного слоя

Подавляющее число изготавливаемых в литейных цехах многослойных КО имеют структуру, представленную на рис. 6.40,а. Структура таких КО состоит из затвердевшей суспензии лицевого слоя, непосредственно контактирующей с поверхностью отливки, и последующих слоёв, состоящих из затвердевшей суспензии и зернистого огнеупорного материала. Как правило, плотность такого композиционного материала КО практически одинакова по всей толщине стенки КО.

В некоторых случаях, с целью экономии обсыпного зернистого материала и повышения прочности и термостойкости КО, её пятый и последующие слои обсыпают либо крупнозернистым огнеупорным материалом (фракция 0,63...1,5 мм), либо крошкой (размер частиц 1,5...2,5 мм), полученной в результате помола боя КО. Структура стенки такой КО представлена на рис. 6.40,б.

Основным недостатком многослойных КО с вышеописанной структурой является их относительно низкая трещиностойчивость, обусловленная относительно однородностью композиционного материала по всей толщине стенки КО. Вследствие этого появившаяся по той или иной причине трещина в КО может проникнуть на всю толщину её стенки.

В настоящее время существует достаточно большое количество способов повышения трещиностойчивости многослойных КО. По мнению автора, наиболее радикальным способом повышения трещиностойчивости КО, содержащих более пяти слоёв огнеупорного покрытия, является создание в её стенке между слоями воздушного зазора (см. рис. 6.40,в) или буферного слоя (см. рис. 6.40,г).

Воздушный зазор толщиной в сотые или десятые доли миллиметра, в конечном счёте, представляет собой сплошную газовую прослойку между внешними и внутренними слоями КО. Принцип "работы" зазора, с точки зрения предотвращения развития трещин в стенке КО, состоит в том, что образующаяся трещина, то ли со стороны лицевого слоя, то ли с наружной стороны КО, прекратит своё продвижение (распространение) в теле КО, достигнув ближайшей свободной поверхности (воздушного зазора).

Для создания воздушного зазора модельный блок, после нанесения на него половины из необходимого числа слоёв огнеупорного покрытия, окунают в раствор органического вещества (например, в раствор канифоли, битума, смолы нефтешлимерной в спирте, асфальте, скипидаре или раствор парафина в бензине, керосине и т.п.). После извлечения блока из раствора органический растворитель испарится, а поверхность блока останется покрытой тонкой плёнкой растворённого вещества (канифоли, битума, смолы нефтешлимерной, парафина и т.п.). Последующие технологические операции нанесения и сушки остальных слоёв огнеупорного покрытия, выплавления модельного состава и прокаливания КО приводят, в конечном счёте, к образованию разделительного газового (воздушного) зазора между слоями в КО.

Наличие воздушного зазора между слоями КО в ряде случаев целесообразно не только с точки зрения повышения её трещиностойчивости, но и обеспечения лёгкого удаления КО с поверхности залитого блока. В частности, получение отливок из легкоплавких цветных сплавов, как правило, сопряжено с трудностями удаления КО с поверхности отливок в связи с относительно высокой прочностью КО. Для упрощения процесса удаления КО с поверхности отливок из алюминиевых сплавов авторы [338] выполнили в КО несколько воздушных зазоров, для чего использовали нитролак с условной вязкостью 20 с по ВЗ-4.

Особенностью КО, как литейной формы, является её крайне низкая податливость, что нередко является причиной образования в отливках трещин. Податливость многослойных КО обеспечивают либо за счёт использования легкоплавких эмалей для обсыпки первого и второго слоёв огнеупорного покрытия (температура

плавления эмали должна быть, как минимум, на 20...50°C ниже начальной температуры КО в момент её заливки металлом), либо путём выполнения в стенке КО буферного слоя (см. рис. 6.40,г).

Буферный слой — это прослойка в стенке КО, характеризующаяся крайне низкими механическими свойствами. В основном, понижения механических свойств буферного слоя достигают либо за счёт использования огнеупорной суспензии, содержащей выгорающий при прокаливании материал (древесную стружку, сечёную солому, пылевидный возврат модельного состава и т.п.), либо за счёт использования вспененной огнеупорной суспензии, либо за счёт использования огнеупорной суспензии, содержащей в качестве наполнителя ПМ с низкой прочностью (порошок прокалённого хризотилового асбеста) и пр.

То есть низкая механическая прочность материала буферного слоя, собственно, и определяет большую податливость внутренних слоёв КО.

При выполнении буферного слоя с использованием отходов возврата модельного состава последний переводят в пылевидное состояние, для чего, например, используют форсунку, схема которой представлена на рис. 6.41.

Для распыления расплав возврата модельного состава нагревают до температуры, превышающей температуру перехода модельного состава из твёрдого в жидкое состояние на 40...70°C, и подают в форсунку. Вместе с этим, от цеховой сети в форсунку подают сжатый воздух. В результате, изменяя удельный расход сжатого воздуха и модельного состава в форсунке, получают гранулы модельного состава диаметром от 10 до 500 мкм.

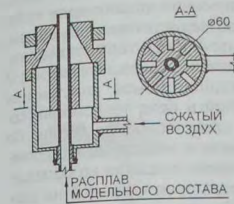


Рис. 6.41. Схема форсунки

Вследствии полученными гранулами обсыпают буферные слои КО вместо зернистого огнеупорного материала.

Сушка многослойных керамических оболочковых форм. Сушка — одна из самых продолжительных и наиболее ответственных операций в технологии изготовления КО. В процессе сушки в слое огнеупорного покрытия протекают процессы диффузии и испарения РР, тепломассопереноса, гидrolитической поликонденсации или коагуляции, усадки и образования капилляров, формирования внутренних напряжений.

Практически процесс сушки каждого слоя огнеупорного покрытия на модельном блоке начинается с момента извлечения блока из огнеупорной суспензии и продолжается после обсыпки блока зернистым материалом. В процессе испарения РР в слое повышается вязкость суспензии, уменьшается его объём и, соответственно, увеличивается плотность. Уменьшение объёма слоя (объём слоя изменяется за счёт уменьшения его толщины) приводит к сближению между собой частиц пылевидного наполнителя высыхающей суспензии и повышению в ней относительной концентрации связующего вещества. При этом направленное движение РР в высыхающем слое приводит к определённой повышению концентрации связующего вещества в области внешней поверхности слоя и, соответственно, понижению — во внутренних областях, прилегающих к поверхности модельного блока. В это же время начинается процесс гидrolитической поликонденсации или коагуляции связующего вещества, а также процесс образования системы капиллярных каналов.

Все эти процессы проходят на фоне понижения температуры высыхающего слоя, обусловленного испарением РР с его внешней поверхности. При этом степенно охлаждение и твердеющего слоя огнеупорного покрытия, и поверхности мо-

дельного блока тем выше, чем интенсивнее температуры наблюдается испарение РР с поверхности слоя. То есть наибольшее понижение температуры происходит в начальный период сушки первого слоя огнеупорного покрытия при использовании в качестве РР легкоиспаряющихся жидкостей (ацетона, спирта этилового, ЭАФ и пр.).

С понижением содержания РР в высушиваемом слое его температура повышается до температуры окружающей среды. К моменту окончания сушки, в основном, завершаются и все вышеперечисленные процессы в слое. При этом высушенный слой характеризуется определённой прочностью и остаточным содержанием РР (влажностью).

Для каждого типа связующего вещества и используемого для обсыпки блоков зернистого материала существует определённый предел содержания влаги (предел высушенности, просушенности), при котором КО в "сыром" (непокалённом) состоянии приобретает наибольшую прочность и характеризуется лучшим комплексом технологических свойств.

Недостаточно просушенный первый слой КО при нанесении второго слоя набухает и отслаивается от поверхности модельного блока. Недостаточная высушенность последующих слоёв КО приводит к снижению её прочности и термостойкости.

Для оценки высушенности КО, параллельно с партией блоков, готовят 2...3 обложки-свидетеля, используя для этого, например, модели стоек, пластин или цилиндров. На модели образцов-свидетелей по принятой в цехе технологии, совместно с партией контролируемых блоков, наносят огнеупорное покрытие. По окончании сушки первого слоя на модель образца-свидетеля наносят второй огнеупорный слой. В случае отсутствия набухания или отслоения покрытия на образце-свидетеле в течение 10...15 мин после нанесения второго слоя покрытия на данную партию блоков наносят последующие слои. При набухании первого слоя огнеупорного покрытия на модели образца-свидетеля продлевают цикл сушки всей партии блоков и через определённое время проводят повторный контроль на втором образце-свидетеле. В зависимости от полученного результата принимают соответствующее решение о необходимости продолжения сушки первого слоя.

Степень высушенности КО в целом определяют количественно, используя данные о максимально допустимом содержании влаги в КО. В зависимости от принятой схемы нанесения огнеупорного покрытия на модельный блок, величина остаточной влаги в высушенном слое огнеупорного покрытия и КО может изменяться от 0,3...0,5% до 2...3% (по массе).

Если для изготовления всех слоёв КО используют суспензии только со щелочными или только с кислыми свойствами, влажность как отдельно высушенных слоёв огнеупорного покрытия, так и КО в целом не должна превышать 1,2%. Если для изготовления комбинированной КО, содержащей спаренные слои, используют огнеупорные суспензии со щелочными и кислыми свойствами, то величина остаточной влаги в предыдущем спаренном слое, перед нанесением последующего спаренного слоя, может достигать 3%. При этом влажность высушенной КО не должна превышать 1,5...2,0%.

В случае использования огнеупорной суспензии, приготовленной на основе водного связующего (кремнезоль, жидкого стекла, АХФ, АЖФ и т.п.), степень высушенности первых четырёх слоёв КО следует контролировать обязательно. Необходимость данного контроля объясняется тем, что сушка огнеупорных покрытий, выполненных на водных связующих, наиболее длительна и зависит как от влажности, скорости движения и температуры воздуха в камере (помещении) сушки, так и от количества слоёв огнеупорного покрытия, нанесённых на модельный блок и, в соответствии с изменением указанных параметров, изменяется в достаточно широких

пределах, что соответствующим образом должно учитываться в технологическом процессе на сушку КО.

Как правило, остаточное содержание воды в высушиваемом слое (слоях) огнеупорного покрытия на модельном блоке или партии модельных блоков рассчитывают по результатам определения массы специально отобранного для испытаний образца покрытия модельного блока в исходном и полностью высушенном состоянии (см. раздел 6.6).

Данный способ позволяет определить содержание воды в огнеупорном покрытии с высокой точностью, однако не очень удобен, поскольку требует неоднократного проведения испытаний для определения времени окончания сушки каждого из слоёв огнеупорного покрытия, для каждой конкретной партии модельных блоков.

Избежать большого объёма работ по оценке степени высушенности слоёв огнеупорного покрытия на модельных блоках можно, установив в камере или помещении сушки около просушиваемых блоков два термометра – термический "индикатор" сушки (ТИС) огнеупорного покрытия. Для проведения измерений оба спиртовых или ртутных термометра должны быть одинаковой марки, с градуировкой шкалы от 0 до 100...120°C, например, марки ТТЖ-М (в целях безопасности рекомендуются использовать спиртовые термометры).

Для проведения оценки высушенности первых четырёх слоёв огнеупорного покрытия поступают следующим образом [233]. Перед использованием на поверхность обоих термометров, со стороны их чувствительного элемента (на их монтажный участок), путём кратковременного одновременного погружения термометров в расплав модельного состава наносят слой модельного состава (толщина слоя – до 0,2 мм). После охлаждения нанесённого слоя модельного состава один из термометров ("сухой") закрепляют в зажиме на тележке, используемой для сушки блоков, либо помещают в сушильную камеру, где будет проводиться сушка слоёв огнеупорного покрытия на модельных блоках. Второй термометр ("влажный") используют для нанесения на его монтажный участок огнеупорного покрытия. Покрытие на "влажный" термометр наносят после завершения нанесения огнеупорного покрытия на последний модельный блок из контролируемой партии блоков. После этого "влажный" термометр устанавливают рядом с "сухим" термометром, что схематично представлено на рис. 6.42.

Испарение воды с поверхности огнеупорного покрытия 3 на "влажном" термометре 2 (см. рис. 6.42) сопровождается поглощением теплоты, что приводит к понижению температуры покрытия и, соответственно, к более низким показаниям температуры на "влажном" термометре. В результате этого показания температуры "сухого" 1 и "влажного" 2 термометров будут различны (при сушке первого слоя огнеупорного покрытия разница в показаниях термометров в начальный период сушки может достигать 12°C, при сушке четвёртого слоя в начальный период сушки эта разница, как правило, не превышает 3°C).

В процессе сушки, по мере испарения воды из огнеупорного покрытия, температура на "влажном" термометре будет неуклонно повышаться и через определённое время показания температуры на обоих термометрах станут одинаковыми.

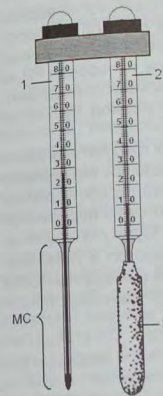


Рис. 6.42. Схема ТИС (МС – монтажный участок термометров, покрытый слоем модельного состава)

Воздушная сушка. Воздушную сушку огнеупорного покрытия на блоках применяют для суспензий, твердеющих в результате удаления из них РР. Ориентировочные режимы сушки огнеупорных покрытий, выполненных на основе различных суспензий, приведены в табл. 6.38.

Таблица 6.38

Ориентировочные режимы сушки огнеупорных покрытий на воздухе при скорости движения воздуха 3...6 м/с			
Суспензия	Режим сушки		
	относительная влажность воздуха (Вл), %	температура воздуха, °С	длительность сушки одного слоя, ч
Этилсиликатная с органическим растворителем (M≤0,85)	80–95	24–28	2,5–4,5
Этилсиликатная без органического растворителя (M=0,85)	40–60	24–28	2–8
	60–80	24–34	2–16
На основе жидкого стекла, кремнезола, для отливок общемашиностроительного назначения	40–60	24–28	2–4
		32–36 (слой № 1 и № 2) 32–36 (слой № 3 и т.д.)	8–24
На основе кремнезола, для отливок специального назначения	40–60	24–28	1–4 (слой № 1–2) 7–24 (слой № 3 и т.д.)
На основе АРК-1	До 90	20–28	0,5–1,5

Данные, приведенные в табл. 6.38, носят ориентировочный характер и могут изменяться в зависимости от конфигурационных особенностей модельного блока, влажности, температуры, скорости и характера движения воздушных потоков в помещении (камере) сушки и др. Например, при всех прочих равных условиях, при наличии в модельном блоке протяженных узких каналов, глубоких поднутрений и т.п. длительность сушки второго и последующих слоев огнеупорного покрытия может быть увеличена на 3...18 ч от значений, указанных в табл. 6.38.

Как было отмечено выше, весьма эффективным способом ускорения сушки блоков является обдув их воздухом. Использование вентилятора в камере сушки, обеспечивающего движение воздуха со скоростью 3...6 м/с, позволяет сократить длительность сушки в 1,5...3 раза по сравнению с сушкой в условиях естественной конвекции воздуха. Кроме того, следует отметить, что для обеспечения стабильности свойств КО, изготовленных на основе водных суспензий, относительную влажность воздуха в помещении (камере) сушки следует поддерживать в пределах от 45 до 60%, а температуру – в пределах от 24 до 26°С. Во избежание расслоения слоев КО, сушку этилсиликатных слоев КО не рекомендуется проводить при температуре ниже 14°С и относительной влажности воздуха ниже 38% [246].

С точки зрения предотвращения загрязнения атмосферы парами органических РР, обеспечения пожаро- и взрывобезопасности производства КО использование водных огнеупорных суспензий предпочтительнее, поскольку в этом отношении водные суспензии абсолютно безопасны. Кроме того, водные огнеупорные суспензии обладают значительно большей живучестью и, следовательно, более стабильными технологическими свойствами. Тем не менее, существенным недостатком водных огнеупорных суспензий является значительная продолжительность сушки третьего и последующих слоев огнеупорного покрытия.

Как отмечалось выше, из всех промышленно используемых огнеупорных суспензий, водные суспензии являются наиболее длительно высыхающими, что обусловлено физическими свойствами воды и присутствием влаги в воздухе, определяющей удельную скорость испарения воды с поверхности блока. Удельную

В тот момент времени, когда показания температуры на обоих термометрах будут одинаковы, процесс сушки данного слоя покрытия можно считать завершенным. Практика работы с ТИС показывает, что в момент достижения одинаковых показаний температуры на обоих термометрах влажность КО, изготовленных на основе кремнезола или жидкого стекла, составляет 1,1...1,2%, по массе (напомним, что огнеупорное покрытие, изготовленное на водном связующем, можно считать высушенным при остаточном содержании в нём воды менее 1,2...1,5%, по массе).

Высушенность 2-го...4-го слоя огнеупорного покрытия на модельных блоках также косвенно оценивают по разнице показаний "сухого" и "влажного" термометров, предварительно нанесая на монтажный участок "влажного" термометра слой покрытия. По окончании нанесения и сушки всех четырех слоев огнеупорного покрытия на модельные блоки продолжают наносить остальные слои огнеупорного покрытия, а "влажный" термометр очищают от керамического слоя огнеупорного покрытия, а "влажный" термометр очищают от керамического слоя огнеупорного покрытия, а "влажный" термометр очищают от керамического слоя огнеупорного покрытия, а "влажный" термометр очищают от керамического слоя огнеупорного покрытия. Для этого термометр (его монтажный участок, покрытый слоем КО) вертикально погружают в кипящую воду или в нагретый до 100°С расплав модельного состава таким образом, чтобы уровень погружения термометра был несколько выше керамического покрытия на нём. Спустя некоторое время керамическое покрытие с торца термометра само собою следёт в результате расплавления слоя модельного состава, изначально нанесенного на монтажный участок термометра.

В некоторых случаях для оценки высушенности слоя, выполненного на водном связующем, используют цветовой индикатор, например, водный раствор хлористого кобальта. Раствор наносят кистью на контролируемые поверхности блока непосредственно после обсыпки его зернистым материалом. По мере испарения РР из высыхающего слоя покрытия нанесенный раствор индикатора изменяет свой цвет, например, от фиолетового или темно-голубого, в начальный период сушки, до практически бесцветного к окончанию сушки данного слоя КО.

Боле длительно сушки (сушку проводят в "сухом" воздухе) требуют наиболее экологически чистые водные огнеупорные суспензии. Для повышения интенсивности сушки таких КО проводят либо при определённой постоянной скорости движения и температуре воздуха в камере сушки, либо в воздушном потоке с переменной скоростью, направлением и температурой, либо в вакууме [89]. Сушку слоев огнеупорного покрытия, выполненного на основе ГРЭС с M≤0,85, проводят в увлажнённой воздушно-аммиачной среде, зачастую используя вакуум. Для выбора наиболее рационального способа сушки слоев КО можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 6.37.

Таблица 6.37

Способы сушки слоев КО

Связующее	РР	Сушка слоев КО
ГРЭС с M=0,22-0,35	Спирт этиловый, изопропиловый, ЭАФ, ацетон и т.п. или их растворы	1. Вакуумно-аммиачная 2. Воздушно-аммиачная при температуре 20–25°С и Вл=80–95%
ГРЭС с M=0,56-0,70		1. Вакуумно-аммиачная 2. Воздушно-аммиачная при температуре 20–25°С и Вл=80–95% 3. Воздушная при температуре 20–25°С и Вл=80–95%
ГРЭС с M=0,85, кремнезоль, жидкое стекло, ЭАФ и т.п.	Вода	1. Воздушная при температуре 24–35°С и Вл=60% 2. Вакуумная 3. Вакуумно-воздушная при температуре 24–35°С и Вл=60%

Примечание. Вл – относительная влажность воздуха.

скорость испарения воды с поверхности модельного блока можно рассчитать известному уравнению:

$$m_{H_2O} = \frac{k}{P} (p - p_1), \quad (6.23)$$

где m_{H_2O} – удельная скорость испарения воды, кг/(м²·с); k – коэффициент пропорциональности, зависящий от динамического состояния (скорости движения) воздуха; P – атмосферное давление; p – давление насыщенных паров при температуре испаряющейся воды; p_1 – парциальное давление паров воды, находящихся в воздухе.

Поскольку величина давления насыщенных паров при температуре испаряющейся воды есть отношение величины абсолютной влажности (r_A) воздуха к его относительной влажности (r_0), то уравнение (6.23) можно записать в виде:

$$m_{H_2O} = \frac{k}{P} \left(\frac{r_A}{r_0} - p_1 \right). \quad (6.24)$$

Анализ уравнения (6.24) показывает, что скорость испарения воды всецело зависит от состояния воздуха (среды), в котором происходит испарение. Причём при определённых условиях величина скорости испарения воды может быть равной нулю. Именно эти обстоятельства не позволяют получать КО одинакового качества на водном связующем при строго фиксированной длительности сушки каждого слоя КО и неуправляемости как влажностью воздуха, используемого для сушки КО, так и его потоками в камере сушки.

При всех прочих равных условиях, длительность сушки предопределяется удельной скоростью испарения РР с поверхности высушиваемого слоя огнеупорного покрытия. Интенсивность испарения РР из слоя огнеупорного покрытия КО можно рассчитать по уравнению [57]:

$$m_0 = \beta_0 \cdot [1 + A \cdot \lg(U + 1)] \cdot \frac{(1 - \phi) \cdot \exp\left(a_0 + \frac{a_1}{T}\right)}{B}, \quad (6.25)$$

где β_0 – коэффициент испарения; A , a_0 , a_1 – опытные коэффициенты (см. табл. 6.39), U – скорость потока воздуха в камере сушки; ϕ – отношение фактического и насыщенного парциального давления пара испаряющейся жидкости в камере сушки; T – температура сушки; B – барометрическое давление.

Анализ уравнения (6.25) показывает, что интенсивность сушки можно увеличить путём понижения давления в камере сушки (сушка в вакууме), увеличения температуры и скорости движения воздуха в камере сушки.

На рис. 6.43 представлены зависимости удельной скорости испарения РР при 25°C от типа РР и скорости движения воздуха в камере сушки. Из зависимостей, представленных на рис. 6.43,

следует, что из числа исследованных РР наибольшей удельной скоростью испарения из КО обладает ацетон, наименьшей – вода. При этом с увеличением скорости движения воздуха в камере сушки (см. рис. 6.43) интенсивность сушки КО монотонно возрастает и при $U > 6$ м/с увеличивается незначительно.

Анализ кинетики сушки второго и последующих слоёв КО позволил авторам [57] получить зависимость, определяющую длительность сушки второго и последующих слоёв (мин):

$$\tau_n = \tau_1 \cdot 1,3^{n-1}, \quad (6.26)$$

где τ_1 – длительность сушки первого слоя, рассчитанная по формуле (6.25), мин; n – порядковый номер высушиваемого слоя на модельном блоке.

Следует отметить, что увеличение интенсивности сушки способствует не только сокращению общего цикла изготовления КО, но и повышает её прочность, о чём свидетельствует зависимость, представленная на рис. 6.44, где использованные РР обозначены: ВС – водное связующее, ОРГ (спирт) – спиртовое связующее, ОРГ (ацетон) – ацетоновое связующее.

Для сокращения длительности сушки огнеупорных покрытий на основе водных суспензий фирмой Drytech Processing Ltd. (США) разработан процесс ускоренной сушки слоёв КО, в основу которого положен принцип цикличности обдува модельных блоков потоком воздуха, вызывающего активную турбулилизацию воздуха у поверхности блоков.

Способ реализации за счёт использования в помещении сушки вращающегося воздушного диффузора (диффузоров), схема которого представлена на рис. 6.45,

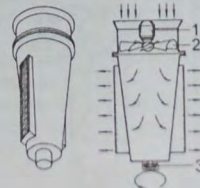


Рис. 6.45. Схема вращающегося диффузора

где обозначены: 1 – электродвигатель; 2 – крыльчатка; 3 – привод вращения диффузора.

Для сушки модельные блоки размещают вокруг вращающегося диффузора. Непрерывное медленное вращение диффузора вокруг вертикальной оси обеспечивает попеременный обдув блоков струями тёплого сухого воздуха, выходящими из щелей диффузора. Скорость воздуха при выходе из щелей диффузора регулируется и изменяется в пределах от 2 до 12 м/с. Скорость и температура воздуха при его выходе из щелей диффузора регулируется автоматически на основании результатов непрерывного измерения температуры и влажности используемого воздуха и темпе-

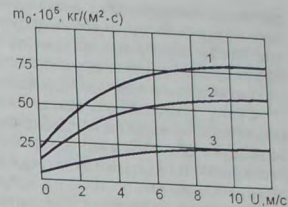


Рис. 6.43. Зависимость удельной скорости испарения РР из КО при 25°C от скорости движения воздуха в камере сушки: 1 – ацетон; 2 – спирт; 3 – вода

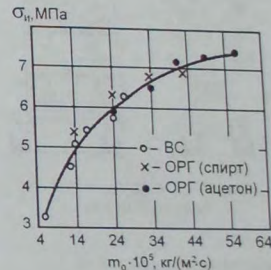


Рис. 6.44. Влияние удельной скорости испарения РР на прочность КО:

Таблица 6.39

Значения коэффициентов в уравнении (6.25)

Разбавитель	A	a ₀	a ₁ , К ⁻¹	β ₀ · 10 ⁵ , кг/(м ² ·с)
Вода	3	25,61	-5208	8,0
Спирт	2	21,03	-3338	1,64
Ацетон	1,2	29,13	-6105	2,86

ратуры огнеупорного покрытия на контрольном модельном блоке. При этом показатели воздуха, выходящего из диффузора, регулируются автоматически таким образом, чтобы обеспечить изменение температуры поверхности модельного блока во время сушки на нём очередного слоя огнеупорного покрытия, в пределах не более $\pm 1^\circ\text{C}$ от исходной температуры модельного блока.

Сушку огнеупорного покрытия с использованием вращающегося воздушного диффузора проводят в кондиционируемом помещении или камере, при температуре воздуха $22...24^\circ\text{C}$ и относительной влажности $50...60\%$. При сушке огнеупорного покрытия на модельных блоках воздух, прошедший диффузор (диффузоры), из сушильной камеры попадает в воздухозаборную систему, где из него удаляют лишнюю влагу, а также осуществляют его охлаждение или нагрев с последующей подачей в диффузор (диффузоры) камеры сушки. Длительность сушки каждого слоя огнеупорного покрытия, например, на основе кремнезоля, при указанных параметрах воздуха не превышает 60 мин. Для успешной реализации процесса ускоренной сушки количество и размеры воздушных вращающихся диффузоров должны соответствовать определённой конфигурации и размерам помещения (камеры) сушильных модельных блоков, мощности системы кондиционирования, обеспечивающей подачу воздуха и его рециркуляцию.

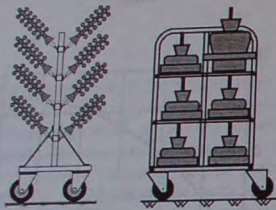


Рис. 6.46. Схема расположения блоков на тележках

На отечественных предприятиях проведения воздушной сушки слоёв огнеупорного покрытия на блоках в условиях единичного и серийного производства осуществляют в специальных помещениях сушилки или камеры, оснащённых тепловентиляторами (калориферами) и соответствующей приточно-вытяжной вентиляционной системой. Для сушки в таких помещениях (камерах) блоки устанавливают на тележки, что схематично

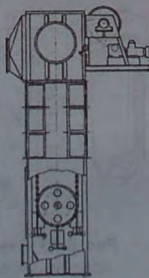
представлено на рис. 6.46.

К числу установок, предназначенных для воздушной сушки огнеупорного покрытия в потоке тёплого воздуха, относится установка мод. 64И831 (Изготовитель — ГУП «Тираспольский завод литейных машин им. С.М.Кирова». Молдова). Параметры и схема установки мод. 64И831 приведены в табл. 6.40.

Таблица 6.40

Параметры сушильной установки конвейерного типа мод. 64И831

Параметры	Значения
Производительность для блоков диаметром 260 мм и длиной 400 мм при длительности сушки 42,5 мин, покрытий/ч	140
Габаритные размеры блоков, мм:	
диаметр	260
длина	400
Количество подвесок, шт	17
Длительность сушки одного слоя покрытия, мин	42,5
Температура подаваемого воздуха в камеру сушки, $^\circ\text{C}$	26–30
Скорость воздуха в камере сушки, м/сек	1,5–3
Установленная мощность, кВт	1,5
Габаритные размеры установки, мм:	
длина	2480
ширина	1985
высота	7810
Масса, кг	4350



Вакуумно-воздушная сушка. Вакуумную сушку слоёв КО (способ предложен З.А. Шагеевым) проводят в вакуум-камерных сушилах. Сушность технологии вакуумной сушки состоит в следующем. После нанесения слоя огнеупорного покрытия на модельный блок его помещают в вакуум-камеру. В вакуум-камере создают разрежение (до $20...10$ мм. рт. ст.) и, после определённой выдержки, давление в вакуум-камере повышают до атмосферного. По достижении атмосферного давления в вакуум-камере, блок извлекают из вакуум-камеры для нанесения следующего слоя огнеупорного покрытия и его последующей сушки в вакуум-камере. Сушка слоёв огнеупорного покрытия в вакууме, по сравнению с сушкой в потоке воздуха, значительно эффективнее. По данным [233], длительность сушки огнеупорного покрытия, выполненного на основе водной суспензии, в вакууме проходит в 7,2 раза быстрее сушки покрытия в потоке воздуха.

Так, например, сушка в потоке воздуха огнеупорного покрытия, выполненного на основе жидкого стекла или кремнезоля, при $29...30^\circ\text{C}$ и относительной влажности $60...65\%$, как правило, составляет: для слоя № 1 — $2...3$ ч; для слоя № 2 — $4...5$ ч; для слоя № 3 — $8...16$ ч; для слоя № 4 — $20...24$ ч. Для слоя № 5 и последующих слоёв КО сушку проводят при $32...34^\circ\text{C}$ и относительной влажности $60...65\%$ в течение $16...20$ ч. В то же время длительность сушки слоёв огнеупорного покрытия, например, изготовленных на основе жидкого стекла, в вакууме (давление $1,3$ кПа), по данным [196], составляет 1 ч при 20°C и $20...30$ мин при температуре $40...50^\circ\text{C}$.

Повышение интенсивности испарения воды с поверхности КО не только сокращает длительность сушки огнеупорного покрытия на модельном блоке, но и приводит к значительному охлаждению тонкостенных моделей отливок. Причём чем тоньше стенки модели, тем значительно их охлаждение. В свою очередь, значительное понижение температуры модели отливки приводит к её необратимой деформации — короблению. То есть интенсификация сушки огнеупорного покрытия в вакууме, связанная с увеличением скорости испарения РР с поверхности модельного блока, по вышеописанным причинам, не способствует повышению размерной точности тонкостенных отливок. При этом, чем протяженнее и тоньше стенки отливки, тем ощутимее влияние охлаждения модели отливки на величину коробления отливки.

В связи с этим автор рекомендует вакуумную сушку первых четырёх слоёв КО на модельном блоке для тонкостенных отливок ответственного назначения проводить в засыпке модельного блока зернистым огнеупорным материалом. Для реализации данного способа необходимо, после нанесения на модельный блок первого или очередного слоя огнеупорного покрытия, поместить блок в опоку (металлический или пластмассовый короб) и засыпать его зернистым материалом той фракции, которой был обсыпан высушиваемый слой покрытия, либо в опоку изначально засыпают зернистый материал и во время погружения в неё блока создают в опоке кипящий слой.

Для проведения сушки опоки с засыпанными в неё модельными блоками помещают в вакуум-камеру. Сушку каждого слоя на засыпанном модельном блоке проводят в течение $1,0...2,0$ ч при давлении до $20...10$ мм рт. ст. По окончании сушки в вакуум-камере повышают давление до атмосферного, блоки извлекают из опоки и проветривают в потоке воздуха ($U_в=2...3$ м/с), при температуре $24\pm 1^\circ\text{C}$ в течение 30 мин.

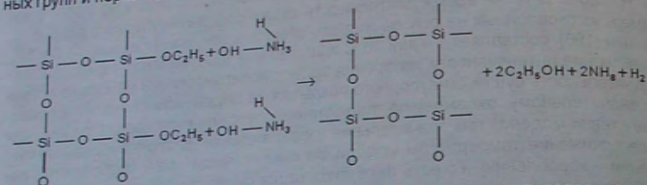
В вышеописанном способе использование вакуума способствует интенсификации процесса удаления РР, а наличие зернистого огнеупорного материала вокруг модельного блока препятствует значительной деформации модели отливки, что позволяет получать КО и, следовательно, тонкостенные отливки с достаточно высокой размерной точностью.

Помимо этого, сушка блоков в засыпке предотвращает отслаивание первых слоев огнеупорного покрытия от "вогнутых" поверхностей стенок моделей (например, у турбинных лопаток со стороны "корыта"), что также способствует повышению мер, у турбинных лопаток со стороны "корыта"), что также способствует повышению точности получаемых отливок.

Основным ограничением в использовании вакуумной сушки являются модели, изготовленные из воздушонаполненных модельных составов. Наличие воздушных пузырьков в теле модели приводит к вздутию её поверхности и разрушению первого слоя огнеупорного покрытия в процессе сушки.

Воздушно-аммиачная сушка. Воздушно-аммиачную сушку применяют для покрытий, выполненных на основе ГРЭС с М<0,7 и органическим РР. Для данных связующих аммиак (NH₃) или гидрат окиси аммония (NH₄OH) является катализатором сушки. Аммиак – бесцветный газ с резким, характерным запахом. Растворимость в воде – более 700 л на 1 л воды, или ~34% по массе, или ~90% по объёму. Плотность газа 0,77 г/л при н.у., температура кипения t_{кип} = -33,4°С.

Механизм воздействия паров аммиака на ГРЭС состоит в омылении этоксильных групп и переводе их в гель по схеме:



Технология вакуумно-аммиачной сушки состоит в том, что после нанесения слоя огнеупорного покрытия блоки выдерживают на воздухе в течение 40...60 мин. По окончании выдержки на воздухе блоки помещают в шкаф, закрывают его и по окончании выдержки на воздухе блоки помещают в шкаф, закрывают его и помещают внутрь шкафа аммиак. Длительность выдержки блоков в парах аммиака (концентрация аммиака в воздухе – 0,8...1,5 мг/л) составляет 10...15 мин. Сушку блоков проводят при 20...25°С и относительной влажности воздуха 80...95%. Для сушки используют газообразный аммиак (в баллонах) либо нашатырный спирт.

Токсичность и резкий запах аммиака предопределяют необходимость проведения воздушно-аммиачной сушки в герметично закрывающихся сушильных установках (камерных сушил). В настоящее время в цехах литья по выплавляемым моделям используют камерные сушилки как собственного изготовления и конструкции, так и камеры, выпускаемые специализированными предприятиями.

На рис. 6.47 представлены схемы некоторых сушильных камер, используемых для получения КО в условиях мелкосерийного и серийного производства литья.

Камерное сушило, конструкция которого представлена на рис. 6.47,а, состоит из шкафа 1 с герметично закрываемой дверью 2. Внутри камеры выполнены решетчатые полки, на которые для сушки устанавливают блоки 3. Водный раствор нашатырного спирта наливают в противень 4, установленный в нижней части камеры. Для удаления паров аммиака из камеры по окончании сушки блоков в верхней части её корпуса предусмотрен вытяжной зонт.

Камерные сушилки данной или подобной конструкции используют для изготовления КО в условиях мелкосерийного производства литья. Основные недостатки камерных сушил такого типа – нерегулируемость концентрации аммиака и влажности воздуха в камере, а также практически полное отсутствие движения газовой

среды в камере и, соответственно, вокруг блоков, что негативно сказывается на качестве и стабильности свойств изготавливаемых КО.

В камерном сушиле, представленном на рис. 6.47,б, для сушки огнеупорного покрытия используют газообразный баллонный аммиак. Камера данной конструкции состоит из шкафа с герметично закрываемой дверью, а также баллона с газообразным аммиаком 4, манометра, аммиакопроводов 5, подводящих патрубков 1, фильтров 2 и системы вытяжной вентиляции 6.

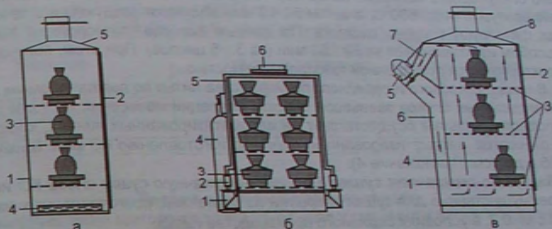


Рис. 6.47. Схемы камер для воздушно-аммиачной сушки КО

Использование газообразного аммиака позволяет осуществлять регулируемую подачу аммиака в камеру, где блоки 3 для сушки размещают на тележке либо на решетчатых полках. Как и в камерном сушиле вышеописанной конструкции, основным недостатком сушилки данного типа является практически полное отсутствие движения газовой среды в его рабочем пространстве в процессе сушки, что не позволяет осуществлять эффективную сушку покрытия на блоках со сложной конфигурацией моделей отливок.

Более совершенную конструкцию имеет сушильная камера, схема которой представлена на рис. 6.47,в. Камерное сушило данной конструкции состоит из шкафа 1 с герметично закрываемой дверью 2, решетчатых полок 3, на которые устанавливают блоки 4, вентилятора 5, воздухопроводов 6 и 7, вытяжного зонта 8.

Сушку в камере вышеописанной конструкции осуществляют следующим образом. После обсыпки блоков зернистым огнеупорным материалом их, перед установкой в сушильную камеру, выдерживают (провяливают) на воздухе, в течение 30...40 мин. После установки блоков в камеру закрывают её дверь и при закрытой задвижке вытяжного зонта из баллона в камеру подают газообразный аммиак. После напуска определённого количества аммиака включают вентилятор 5, который обеспечивает круговую циркуляцию воздушно-аммиачной смеси в рабочем пространстве камеры со скоростью ~1 м/с (направление движения газовой среды в камере, на рис. 6.47,в, обозначено стрелками).

В процессе сушки, концентрацию паров аммиака в камере поддерживают в пределах от 0,8 до 1,5 мг/л и влажность воздушно-аммиачной смеси – от 80 до 95%. После сушки в парах аммиака (10...15 мин) открывают задвижку вытяжного зонта, включают вытяжную вентиляцию, приоткрывают дверь камеры и спустя ~15 мин блоки извлекают из камеры. После сушки в парах аммиака блоки проветривают на воздухе в течение 20...60 мин (до полного удаления запаха аммиака) и наносят следующий слой огнеупорного покрытия.

Проветривание блоков – операция обязательная, поскольку стелен удаления аммиака из огнеупорного покрытия влияет не только на прочность изготавливаемых КО, живучесть используемой суспензии, но и омыляемость модельных составов, имеющих высокое кислотное число.

Помимо вышеописанных способов сушки, существуют и другие способы, к числу которых относится способ теплоимпульсной сушки слоёв КО [248]. Сущность данного способа заключается в том, что модельный блок со слоем нанесённого на него огнеупорного покрытия на основе ГРЭС на 1...2 с помещают в камеру печи с температурой 400...600°C, а затем 5...10 мин обдувают воздухом и в течение 1...2 мин фиксируют в парах аммиака. По данным авторов, пятикратную КО данным способом изготавливают за 50...80 мин (за 3...5 циклов). При этом, получаемые КО характеризуются повышенной газопроницаемостью.

В цехах массового и серийного производства литья по выплавляемым моделям (для модельных блоков звеньевой сборки) операции нанесения и сушки слоёв огнеупорного покрытия осуществляют на автоматизированных линиях, к числу которых относятся автоматизированные линии по изготовлению КО мод. 6Б82-01, мод. 64005 и др. (см. Приложение 4).

Вакуумно-аммиачная сушка. Вакуумно-аммиачную сушку слоёв КО используют преимущественно для сушки покрытий из суспензий, приготовленных на основе ГРЭС с М-0,7, в условиях серийного производства литья.

К числу установок, предназначенных для проведения вакуумно-аммиачной сушки, относятся установки типа УВС, установка мод. 683 и т.п. Принципиальная схема установок типа УВС представлена на рис. 6.48.

Процесс сушки КО в вакуумно-аммиачных установках типа УВС включает следующие технологические операции:

- загрузку блоков в камеру установки;
- закрытие и герметизацию камеры;
- продувку камеры воздухом с температурой 25...35°C;
- создание в камере вакуума (до 10 мм рт. ст.) и выдержку блоков в вакууме в течение 3-х мин;
- впрыск в камеру аммиака;
- выдержку блоков в парах аммиака при давлении 100 мм рт. ст. в течение 10 мин;
- напуск в камеру воздуха и выдержку блоков на воздухе в течение 10 мин;
- открывание камеры, выгрузку блоков из камеры.

Длительность цикла сушки одного слоя КО в установке типа УВС составляет 23 мин. Перед помещением в установку и после сушки в установке блоки с нанесёнными слоями выдерживают на воздухе в течение 2...3 ч.

Существенным недостатком данного способа является невозможность сушки огнеупорного покрытия на моделях, изготовленных из воздушнонаполненного модельного состава. Наличие воздуха в модельном составе приводит к появлению "ваздутий" на поверхности модели и разрушению первого слоя огнеупорного покрытия.

Расход основных материалов для изготовления многослойных КО. Изготовление КО сопряжено с определённым расходом основных и вспомогательных

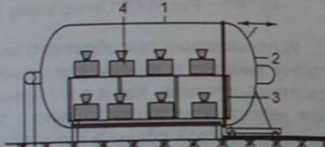


Рис. 6.48. Схема установки УВС:
1 – камера установки; 2 – откатная крышка; 3 – тележка-атажерга; 4 – блоки

материалов, который зависит от достаточно большого количества факторов и не только технологического, но и организационного характера.

Для проведения ориентировочной оценки расхода основных материалов, используемых для изготовления КО, можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 6.41 ... табл. 6.44.

Таблица 6.41
Расход основных материалов (кг) для изготовления одного слоя КО на основе кварцевого песка и ГРЭС (М<0,7) на тонну годного литья общемашиностроительного назначения

Материал	Масса отливки (из стали, никелевого, кобальтового сплава)	
	До 0,25 кг	Более 0,25 кг
Этилсиликат (ЭТС-40)	35-47	14-18
Органический растворитель	70-98	26-37
Пылевидный кварц	120-160	100-160
Кварцевый песок	325	250

Таблица 6.42
Расход основных материалов (кг) для изготовления одного слоя КО на основе кварцевого песка и кремнезоль на тонну годного литья общемашиностроительного назначения

Материал	Масса отливки (из стали, никелевого, кобальтового сплава)	
	До 0,25 кг	Более 0,25 кг
Кремнезоль	110-120	40-45
Пылевидный кварц	260-360	110-140
Кварцевый песок	325	250

Таблица 6.43
Расход основных материалов (кг) для изготовления одного слоя КО на основе белого электрокорунда и ГРЭС (М<0,7) на тонну годного вакуумного литья из жаропрочных никелевых сплавов

Материал	Масса отливки (из стали, никелевого сплава)	
	До 0,25 кг	Более 0,25 кг
Этилсиликат (ЭТС-40)	41-47	14-18
Органический растворитель	70-80	26-29
Дистен-силлиманит	270-380	110-150
Электрокорунд	340-360	120-140

Таблица 6.44
Расход основных материалов (кг) для изготовления одного слоя КО на основе белого электрокорунда и кремнезоль на тонну годного вакуумного литья из жаропрочных никелевых сплавов

Материал	Масса отливки (из стали, никелевого сплава)	
	До 0,25 кг	Более 0,25 кг
Кремнезоль	110-120	40-45
Дистен-силлиманит	300-360	125-150
Электрокорунд	340-360	120-140

Электрофоретический способ изготовления КО. Помимо вышеописанного, наиболее распространенного способа изготовления КО, известен электрофоретический способ изготовления КО, предложенный И.В. Рыжиковым. Сущность электрофоретического способа состоит в осаждении на поверхности модельного блока

огнеупорного материала, например, шамота или кристаллического кварца, из грубодисперсной суспензии в поле постоянного электрического тока [204; 276].

Для реализации электрофоретического способа изготовления КО на модельный блок наносят один слой огнеупорного покрытия по общепринятой технологии на основе, например, ГРЭС. Нанесённый на модельный блок слой проваливают на воздухе в течение 4...6 мин и на его поверхности формируют электропроводный и электрофоретический слои.

Для формирования электропроводного слоя модельный блок окунают в токопроводную суспензию, состоящую из электролита, связующего вещества и ПМ. В качестве электролита используют 40%-ный водный раствор КОН, в качестве связующего вещества применяют жидкое стекло или кальцийалюмохромосфат. Соотношение электролита и связующего в суспензии (по объёму) составляет 1,5:1. В отношении электролита и связующего из расчёта 1,4 кг на 1 дм³ раствора. В качестве ПМ используют кварц пылевидный, из расчёта 1,4 кг на 1 дм³ раствора.

После нанесения электропроводного слоя модельный блок обсыпают кварцевым песком и погружают в металлический бак с электрофоретической суспензией. Электрофоретическая суспензия состоит из водного раствора электролита (0,04%-ного тринатрийпирофосфата или гексаметафосфата натрия), пылевидного кварца (1,4 кг на 1 дм³ раствора) и кварцевого песка (1 кг на 1 дм³ раствора).

После погружения модельного блока в электрофоретическую суспензию, металлический бак электролизёра подключают к отрицательному полюсу источника постоянного тока, а металлический каркас-стойка модельного блока – к положительному полюсу, что схематично представлено на рис. 6.49 (на рис. 6.49 обозначены: 1 – металлический каркас-стойка; 2 – электропроводный слой; 3 – модельный блок; 4 – электрофоретический слой; 5 – первый (лицевой) слой КО; 6 – суспензия; 7 – бак). При таком подключении роль катода выполняет металлический бак, а роль анода – электропроводный слой на модельном блоке.

После включения постоянного тока напряжением 40...80 В и плотностью тока 0,02...0,04 А/см², частицы огнеупорного наполнителя электрофоретической суспензии перемещаются от катода к аноду и осаждаются на модельном блоке, образуя форетический слой. Длительность формирования одного форетического слоя составляет 60...150 с. При этом его толщина достигает 5...10 мм.

После нанесения форетического слоя модельный блок извлекают из электролизёра и обсыпают кварцевым песком. При исходной влажности КО 11...12% её проваливают на воздухе и впоследствии сушат в сушильном шкафу. Сушку проводят при относительной влажности воздуха 60...85% в течение 5...20 ч до остаточной влажности 0,8...1,0%. В случае необходимости увеличения толщины КО повторяют технологические операции нанесения электропроводного и форетического слоя на блок с последующим осаждением на блоке огнеупорного материала из грубодисперсной суспензии.

В некоторых случаях, для повышения прочности КО, по окончании сушки форетического слоя на блок наносят и сушат слой огнеупорного покрытия из суспензии, приготовленной на основе жидкого стекла. После нанесения огнеупорного покрытия необходимой толщины и его сушки из КО выплавляют модельный состав. Впоследствии КО формируют в опорный наполнитель, прокаливают и заливают.

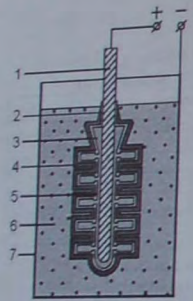


Рис. 6.49. Схема изготовления КО электрофоретическим способом

С целью сокращения длительности сушки электрофоретических КО авторы работы [283] рекомендуют использовать способ ускоренной сушки (импульсно-вакуумный). Сущность данного способа состоит в том, что КО в течение 40 мин сушат при 32°С в условиях циркуляции воздуха при атмосферном давлении, в герметичной камере. За это время влажность КО понижается до 11% (порогового влагосодержания). Пороговое влагосодержание – это содержание влаги в КО, после образования которого начинается повышение структурно-механических свойств КО и образование в ней воздушных пор.

С момента достижения порогового влагосодержания и до достижения содержания влаги в КО менее 0,5% сушку интенсифицируют импульсно-вакуумным методом. Для этого, по окончании подсушивания КО, в камере сушки, в течение 2...3 с создают вакуум глубиной 150 кПа (вакуумный импульс) с последующей выдержкой КО в вакууме в течение 30 с. После вакуумирования в камере повышают давление до атмосферного и КО подсушивают в конвективно-тепловом потоке воздуха в течение 6 мин. Описанный цикл вакуумного импульса повторяют многократно до полного высушивания КО. Общая длительность сушки КО с начальным содержанием воды 14% длится около 3,5...4,0 ч.

Неоспорным достоинством электрофоретического способа изготовления КО является отсутствие каких-либо дорогостоящих связующих материалов или их ограниченное использование, что делает данный процесс весьма привлекательным. Существенным недостатком данного способа является невысокая размерная точность получаемых отливок, относительно невысокая прочность КО (до 4 МПа) и ограниченность применения относительно простыми по конфигурации отливками.

Изготовление форм для получения отливок из химически активных сплавов. Отливки из титановых сплавов получают в КО, изготовленные на основе белого электрокорунда, или в оболочковые формы, изготовленные на основе графита или кокса (ГО).

На отечественных предприятиях для изготовления КО на основе белого электрокорунда в качестве связующего используют ГРЭС с M=0,2...0,7. За рубежом в качестве связующего вещества для получения КО, помимо ГРЭС, также используют тетраэтилхлортитанат в смеси с триэтаноломином, диэтаноломином или моноэтаноломином и т.п. Для изготовления ГО в качестве связующего, применяют фенолоформальдегидную смолу, а в качестве катализатора – кислоты.

Титановые сплавы, в жидком состоянии, являются химически активными материалами. Поэтому одним из актуальных вопросов получения качественных титановых отливок является предотвращение насыщения их поверхности продуктами взаимодействия сплава с формой (образование альфированного слоя).

Дело в том, что качество (чистота по вредным примесям) поверхностного слоя титановых отливок оказывает значительное влияние на их работоспособность. В частности, в результате загрязнения поверхностного слоя микротвёрдость поверхности титановых отливок может возрасти с 2800 до 8000...9000 МПа. В свою очередь, повышение микротвёрдости поверхностного слоя отливки приводит к его охрупчиванию и развитию в литой детали поверхностных усталостных трещин.

С целью удаления загрязнённого поверхностного слоя отливку травят в плавиковой кислоте, что не только резко ухудшает гигиенические и экологические условия производства литья, но и понижает точность отливки. Поэтому к качеству поверхности титановых отливок предъявляют особые требования.

Как было отмечено выше, отливки из титановых сплавов получают в формах на основе белого электрокорунда, графита или кокса. В зависимости от используемого материала форм, отливки из титановых сплавов имеют различную глубину и твёрдость видоизменённого (альфированного) поверхностного слоя. При этом наи-

меньшие прочностные свойства (наибольшую загрязнённость поверхности слоя) имеют титановые отливки, полученные в КО на основе белого электрокорунда, а неэлектрической рабочей поверхностью [31].

Достоинством электрокорундовых КО на основе ГРЭС является их высокая прочность и размерная точность, что обеспечивается стабильной и относительно прочностью и размерная точность, что обеспечивается электрокорундовых КО — относительно высокой усадкой КО. Существенный недостаток электрокорундовых КО — только высокая химическая активность к расплавам титановых сплавов [136; 290 и др.].

При получении титановых отливок в КО снижения толщины загрязнённого поверхностного слоя достигают за счёт использования огнеупорных суспензий с низким содержанием кремнезема, путём ввода в огнеупорную суспензию спелых с низким содержанием кремнезема, путём ввода в огнеупорную суспензию специальных технологических добавок или нанесения на рабочую поверхность КО защитных покрытий (пироглерода, галогенидов щелочных и щелочноземельных металлов, тугоплавких металлов и пр.).

Для предупреждения химического взаимодействия титановых сплавов с КО, в некоторых случаях, в огнеупорную суспензию для первого слоя КО вводят титановый порошок. Прокаливание таких КО проводят в коробах с графитовым затвором, во избежание проникновения воздуха к КО и окисления титана. На поверхности прокалённой КО титан присутствует в виде пористого или сплошного слоя и, в ряде случаев, позволяет полностью исключить взаимодействие отливки и КО. Дело в том, что титан относится к числу материалов-геттеров, которые обладают максимальной газопоглощающей способностью при температуре более 1100°C. Нагреваясь до высоких температур от залитого в форму расплава титановое покрытие выполняет барьерные функции и, как активный геттер, поглощает газы, выделяющиеся из КО.

Пропитка КО солями хлористого натрия, калия или магния [290] также позволяет снизить степень взаимодействия титанового сплава и КО. Однако гигроскопичность используемых солей при определённых условиях может повышать влажность КО, в связи с чем такие КО и формы следует хранить при температуре 250... 300°C.

Металлизация рабочей (внутренней) поверхности КО является одним из самых эффективных способов предупреждения химического взаимодействия титанового сплава с КО. Металлизацию внутренней поверхности КО вольфрамом или молибденом [348] осуществляют за счёт введения их окислов в огнеупорную суспензию, используемую для изготовления первого (лицевого) слоя КО. Последующее прокаливание КО в среде водорода восстанавливает металл из его окисла, например, вольфрам из пентоксида вольфрама, образуя на внутренней поверхности КО тонкий плотный слой вольфрама. Существенным недостатком данного способа является его дороговизна и нестабильность процесса.

По мнению авторов [151], образование видоизменённого слоя на поверхности титановых отливок при литье в электрокорундовые КО, изготовленные на основе ГРЭС, вызвано присутствием в лицевом слое относительно большого количества SiO₂ (от 1 до 1,7%). Причём послойное нанесение огнеупорного покрытия на модельный блок способствует повышению содержания SiO₂ в лицевом слое за счёт фильтрационного массопереноса раствора связующего вещества в порах ранее высушенных слоёв КО, при сушке последующего слоя огнеупорного покрытия на модельном блоке. Поэтому выполнение "тормозящего" (блокирующего) слоя в теле КО предотвратит это явление и тем самым позволит сохранить исходное содержание SiO₂ в лицевом слое.

Для исследований авторы работы [151] использовали КО, содержащие различное количество двуоксида кремния в ГРЭС, а также КО с комбинированными слоями огнеупорного покрытия.

В исследованиях для изготовления КО использовали электрокорунд, суспензию, приготовленную на основе этилсиликата марки ЭТС-40 (содержание SiO₂ в сокотемпературное связующее). КО заливали сплавом ВТ-20Л.

В комбинированных КО первый и второй слой выполняли на основе электрокорундовых порошков с этилсиликатным связующим, содержащим 4,5% SiO₂, третий слой — "тормозящий" (слой выполнен на основе органической смолы), последующие слои — на основе дистен-силлиманита с ГРЭС, содержащим 18% SiO₂.

Зависимость глубины (h) видоизменённого поверхностного слоя в титановых отливках и прочность непрокалённых КО от содержания SiO₂ в связующем, представлена на рис. 6.50, а на рис. 6.51 представлены зависимости изменения величины поверхностной микротвёрдости (H_μ) от расстояния, измеряемого от поверхности отливок из сплава ВТ20Л, полученных в КО и графитовую форму (на рис. 6.51 обозначены: 1 — традиционная КО, изготовленная на основе ГРЭС, содержащего 18% SiO₂; 2 — традиционная КО, изготовленная на основе ГРЭС, содержащего 9% SiO₂; 3 — традиционная КО, изготовленная на основе ГРЭС, содержащего 4,5% SiO₂; 4 и 5 — комбинированная КО; пунктирная линия — графитовая форма).

Анализ зависимостей, представленных на рис. 6.50 и рис. 6.51, показывает, что толщина альфирванного слоя на поверхности титановых отливок уменьшается с уменьшением толщины стенки отливки (сокращением длительности затвердевания и охлаждения отливки в форме), с понижением содержания SiO₂ как в используемой огнеупорной суспензии, так и лицевом слое КО.

Кроме того, анализ хода зависимостей 1 и 3, а также зависимостей 2 и 4, представленных на рис. 6.51, свидетельствует о высокой эффективности применённого "тормозящего" слоя в КО, что подтверждает выдвинутую автора-

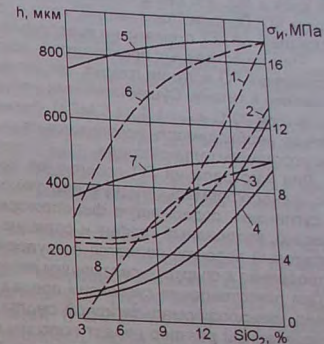


Рис. 6.50. Зависимость глубины (h) видоизменённого слоя в титановых отливках и прочности (σ_н) "сырых" КО от содержания SiO₂ в связующем (сплошная линия — комбинированная КО, пунктирная линия — традиционная КО): 1 и 3 — толщина стенки отливки δ=15 мм, 2 и 4 — δ=5, 5 и 6 — σ_н КО, полностью пропитанной модельным составом, 7 и 8 — σ_н КО, не пропитанной модельным составом

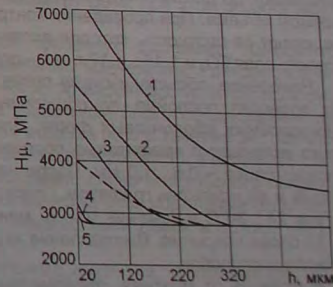


Рис. 6.51. Зависимость поверхностной микротвёрдости от глубины видоизменённого поверхностного слоя в отливке из сплава ВТ-20Л

ми гипотезу о причинах образования альфированного слоя в титановых отливках. Несомненным достоинством способа изготовления КО с "термоэластиком" (блокирующим) слоем является его простота и надёжность. Помимо этого, наличие такового слоя в КО, что было описано выше, способствует повышению трещиностойкости КО. По сути "термоэластик" слой в "сырой" КО является воздушной прослойкой прокалённой КО, схематично представленной на рис. 6.40, в.

На отечественных предприятиях достаточно широкое распространение для изготовления ГО получил графит, как материал наиболее химически инертный по отношению к титану. Существенными недостатками ГО являются их невысокая прочность (при 20°C $\sigma_{\text{изг}}=1,0...1,5$ МПа), большая и нестабильная усадка (от 2,5 до 5%), а также необходимость использования высокотемпературного обжига ГО в вакууме или восстановительной среде.

Для изготовления ГО используют суспензию, содержащую графитовый порошок, фенолоформальдегидную или фенолборитную смолу и спирт, или используемую фенолоформальдегидную смолу, эфирно-альдегидную суспензию, содержащую фенольную кислоту (технология НИАТ). В суспензии фракцию, коллоидный графит и соляную кислоту (технология НИАТ). В суспензии графитовый порошок является огнеупорным наполнителем, спирт – РР, а смолы, растворённая в спирте, – связующим веществом.

Для приготовления суспензии предварительно готовят спиртовой раствор, например, фенолоформальдегидной смолы (плотность раствора $0,95...0,96$ г/см³). В приготовленный раствор вводят порошок графита следующего состава, % (по массе): 20...25 сухого коллоидного графита; 75...80 графитовых порошков марок ГМЗ, ЭК зернистостью $0,03...0,1$ мм [290].

Приготовление суспензии осуществляют в быстроходных мешалках в следующей последовательности. Перед использованием с целью удаления влаги все графитовые порошки прокалывают при $150...200^{\circ}\text{C}$ и охлаждают до комнатной температуры. Взвешивают необходимое количество порошков и приготавливают их смесь. В спирт вводят мелкоизмельчённую смолу и перемешивают раствор до полного растворения смолы. При необходимости спиртосмоляной раствор фильтруют.

В приготовленный раствор при интенсивном перемешивании вводят смесь графитовых порошков, а затем отвердитель – контакт Петрова. Суспензию перемешивают до достижения её однородности по консистенции во всём приготавливаемом объёме. При проведении контроля качества приготовленной суспензии определяют её плотность, которая должна составлять $1,18...1,20$ г/см³ для первого и второго слоя ГО, и $1,15...1,17$ г/см³ – для последующих слоёв.

Нанесение, обсыпку и сушку слоёв огнеупорного покрытия на модельных блоках проводят послойно, по общепринятой технологической схеме изготовления многослойных оболочковых форм. Для обсыпки первых трёх слоёв модельного блока используют графитовые порошки зернистостью $0,1...0,5$ мм, а для последующих слоёв – $0,6...1,5$ мм. После нанесения очередного слоя огнеупорной суспензии и её присыпки графитом, проводят сушку покрытия на воздухе при температуре $24...30^{\circ}\text{C}$ в течение $10...30$ мин. Как правило на модельный блок наносят $5...10$ слоёв покрытия. Выплавление модельного состава из ГО проводят любым из известных способов.

В отличие от графита, оболочковые формы, изготовленные на основе кокса, имеют более стабильную усадку. Кокс, по отношению к графиту, значительно ниже по себестоимости, хорошо поддаётся дроблению, обладает необходимой прочностью и твёрдостью. В связи с более низкой теплопроводностью коксовых ГО, их заполняемость титановыми сплавами выше, чем графитовых ГО.

Для изготовления суспензий коксовых ГО также используется кокс (пыль печеного кокса с размерами частиц $0,06...0,08$ мм). В качестве связующих применяют

смесь фурановой и фенольной смол. Суспензия, приготовленная на основе кокса, должна иметь условную вязкость $30...32$ по вискозиметру ВЗ-4.

Отливки, полученные в ГО, характеризуются меньшей точностью, чем отливки, полученные в электрокорундовые КО. Однако по сравнению с отливками, полученными в электрокорундовые КО, величина загрязнённого (альфированного) поверхностного слоя у отливок, полученных в ГО, значительно меньше, что позволяет, в стельку удаляя альфированный слой путём обдува отливки кислотами и оседающе-образной смесью в пескоструйной камере.

С целью снижения величины усадки и повышения стабильности размеров радиально вводят микропорошок ПАП-2 с размерами частиц $3...5$ мкм в количестве, обеспечивающем отношение массы алюминиевого порошка к массе кокса-графитового порошка – $0,3...0,4$ [50]. Использование микропорошка алюминия позволяет снизить усадку ГО на $20...30\%$.

Для получения отливок из химических активных сплавов используют не только КО, изготовленные из электрокорунда (α - Al_2O_3), но и из плавящего периклаза (MgO) [116], используя при этом в качестве связующего вещества как ГРЭС, так и водные растворы солей. При этом изготавливаемые формы могут быть как многослойными оболочковыми, так и монолитными. В случае изготовления формы на основе периклаза и водного раствора соли (MgSO_4 , MgCl_2 , CaCl_2 и т.п.) связующим веществом являются комплексные соединения, образующиеся в результате прохождения химической реакции между периклазом и растворённой в воде солью.

Периклазовые многослойные КО изготавливают с использованием дистиллированной воды, MgSO_4 , пылевидного (частицы с размерами менее 63 мкм) и зернистого (частицы с размерами $0,2...0,315$ мм) плавящего периклаза.

Перед приготовлением огнеупорной суспензии сульфат магния просушивают при температуре 500°C , после чего охлаждают и растворяют в воде до получения насыщенного раствора. По окончании растворения сульфата магния в раствор вводят пылевидный плавящий периклаз и перемешивают суспензию в механической мешалке с частотой вращения крыльчатки 1400 об/мин. Условная вязкость приготовленной суспензии, определённая по вискозиметру ВЗ-4, при этом должна находиться в пределах от 30 до 32 с.

Для изготовления многослойных КО приготовленную суспензию, наносят на модельный блок и обсыпая зернистым плавящим магнезитом. Равновесное содержание воды в изготавливаемой КО ($4,0...4,5\%$, по массе) достигается, если сушку каждого слоя огнеупорного покрытия на модельном блоке осуществляют при температуре 20°C и относительной влажности воздуха 50% в течение $24...48$ ч либо в потоке воздуха ($U=4,5$ м/с), имеющей температуру $25...28^{\circ}\text{C}$, в течение $6...8$ ч.

Тем не менее, по сути, химическое отверждение слоёв огнеупорного покрытия на модельном блоке позволяет проводить их нанесение на модельный блок через каждые $1,5...2,0$ ч после проведения сушки каждого такого слоя в потоке тёплого воздуха [116].

В процессе сушки каждого слоя огнеупорного покрытия на модельном блоке происходит химическая реакция между MgSO_4 и MgO с образованием гидроксидов магния – $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и окисульфата магния – $\text{MgSO}_4 \cdot n\text{MgO} \cdot m\text{H}_2\text{O}$, что, собственно, и придаёт "сырую" прочность высушенному слою на модельном блоке.

Выплавление модельного состава из КО следует осуществлять в электротермостате (электроречи), поскольку выплавление в воде или перегретом модельном составе не обеспечивает необходимой "сырой" прочности полученным КО, о чём свидетельствуют данные, приведенные в табл. 6.45.

Предел прочности при статическом изгибе
"сырых" перилазовых КО (при 20 °С)

Таблица 6.45

Способ выплавления модельного состава из КО	Длительность выплавления модельного состава из КО, мин	σ, МПа	
		Непосредственно после выплавления модельного состава	Через 24 ч
В воде	15	0,5–0,7	0,8–1,0
	15	1,0–1,5	1,0–1,8
В модельном составе	30	2,0–3,6	4,0–4,5
	60	8,0	
В электротермостате:	при 100°С	4,2–4,8	
	при 100°С	3,0	5,2–5,5
	при 120°С	6,0	
	при 120°С	3,0	7,0–7,4
	при 150°С	6,0	

Примечание. Увеличение длительности выплавления блоков в воде или модельном составе приводит к набуханию, расслаиванию или к растрескиванию КО.

Поскольку в изготовленных КО остаётся определённое количество не вступившего в химическую реакцию сульфата магния и температура термического разложения сульфата магния составляет 1160°С, то прокаливание таких перилазовых КО, соответственно, проводят при температуре 1200...1400°С.

6.5. Выплавление модельного состава из форм

Выплавление модельного состава из КО или ГО, как правило, осуществляют в течение суток после окончания сушки последнего слоя КО. Выплавление модельного состава из КО, заформованных в самотвердеющий монолитный опорный наполнитель, и из монолитных форм, изготовленных на основе гипса, осуществляют в течение двух-трёх суток с момента окончания их изготовления.

Ограничение длительности хранения повышает хрупкость КО. В свою очередь, увеличение хрупкости КО может привести к разрушению КО в процессе выплавления из неё модельного состава.

Для выплавления модельного состава форму нагревают. В результате нагрева происходит расплавление и самопроизвольное удаление (вытекание) модельного состава из полостей формы. Перед выплавлением модельного состава из КО проводят подготовку блоков. Подготовка блоков заключается в удалении с торцевой части бурта ЛВ (ЛЧ) огнеупорного покрытия для обеспечения свободного вытекания жидкого модельного состава из КО по мере его расплавления. Схемы "подрезки" КО в области ЛЧ представлены на рис. 6.52, где поверхности удаления тела КО обозначены буквой Z.

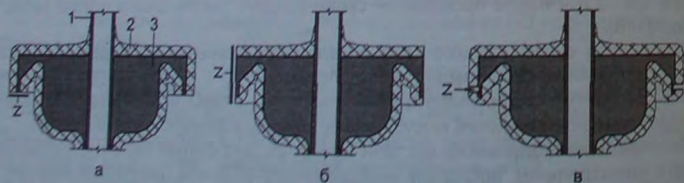


Рис. 6.52. Схемы "подрезки" бурта ЛЧ: 1 – каркас стояка; 2 – КО; 3 – модель ЛЧ

В зависимости от принятой в цехе технологии, операцию удаления керамики с торца ЛВ (ЛЧ) осуществляют либо ножом, после нанесения (до сушки) каждого слоя огнеупорного покрытия на модельный блок (см. рис. 6.52, а, б), либо, по завершении формирования всех слоёв КО на модельном блоке, на станке, с использованием тонкого абразивного круга (см. рис. 6.52, в).

Выплавление модельного состава из форм проводят, в основном, путём их нагрева до температуры 95...200°С при давлении от атмосферного до 0,8 МПа, в газобразной или жидкой среде. В качестве среды, передающей тепло к форме, в основном, используют горячую воду, перегретый пар, жидкий модельный состав, гликоле, а также на воздухе с использованием светового излучения или токов высокой частоты (ТВЧ, СВЧ).

Для выбора наиболее приемлемого способа выплавления модельного состава из КО можно воспользоваться следующей методикой. В табл. 6.46 приведены условные уровни, соответствующие определённому параметру модельного состава, КО и блока, с соответствующими значениями и присвоенными этим значениям кодами, а в табл. 6.47 указаны условные номера способов выплавления модельного состава из КО.

Таблица 6.46
Уровни параметров и коды способов выплавления модельного состава

Уровень	Параметр	Величина, состояние (коды)		
		До 90 (1–7)	От 90 до 150 (1, 5–7)	Более 150 (1)
А	Температура плавления или перехода модельного состава в жидкое состояние, °С	До 90 (1–7)	От 90 до 150 (1, 5–7)	Более 150 (1)
Б	Кинематическая вязкость модельного состава при 100°С, сСт	До 30 (1–7)	Более 30 (1, 2, 5–7)	Плавится выше 100°С (1)
В	Наполнитель модельного состава	Воздух (1–7)	Вода (1–3, 5–7)	Твёрдый наполнитель или без наполнителя (1–7)
Г	Кислотное число модельного состава, мг КОН / г	До 2 (1–7)		Более 2 (1, 3–7)
Д	Предел прочности "сырой" КО при статическом изгибе, при 20°С, МПа	До 3,5 (4–7)	От 3,5 до 6,5 (2–7)	Более 6,5 (1–7)
Е	КО содержит химически не закреплённые жидкостекольные слои	Да (1, 3, 4)		Нет (1–7)
Ж	Отношение диаметра вписанной окружности в наиболее массивной термическом узле модельного блока к средней толщине КО на блоке	До 5 (1–7)		Более 5 (2–7)
З	Габаритные размеры модельного блока (в плане) при установке блока на выплавление из него модельного состава, мм	До 200 (1–7)		Более 200 (2–7)

Таблица 6.47

Условные номера способов выплавления модельного состава из КО

Способ выплавления модельного состава из КО	Условный номер способа
В сухом воздухе при t=200–240°С и атмосферном давлении	1
В воде при t=95–98°С и рН=6-7	2
В воде при t=95–98°С и рН<5	3
В жидком модельном составе при t=120–140°С	4
В водяном паре при t=160–170°С и P=0,6–0,8 МПа	5
Во влажном воздухе при t=160–170°С и P=0,12 МПа	6
СВЧ-нагрев	7

Для выбора наиболее приемлемого способа выплавления модельного состава поступают следующим образом. Выбирая варианты ответов в табл. 6.46, записывают их коды для каждого уровня в сводную табл. 6.47 условных номеров (номера) вают их коды для каждого уровня в сводную табл. 6.47

Следующим этапом является поиск по табл. 6.47 условных номеров (номера) способов (способа) выплавления модельного состава из КО, у которых (которого), были бы заполнены все уровни (от уровня А до уровня З в табл. 6.48).

Выявленные таким образом номера и будут соответствовать условным номерам наиболее приемлемых способов (способа) выплавления модельного состава из КО, обозначенных в табл. 6.47.

Пример 6.22. Определим наиболее приемлемый способ выплавления модельного состава Р-3 ($t_{пл} = 56...59^{\circ}C$, кинематическая вязкость при $100^{\circ}C - 12$ сСт, содержание воздуха в модельном составе – 18...25%, кислотное число – не более 4 мг КОН/г) из КО, у которой первые два слоя выполнены на основе ГРЭС, остальные три слоя – на основе жидкого стекла. При этом химическое закрепление жидкостекольных слоёв не проведено, а предел прочности при статическом изгибе непрокалённой КО при $20^{\circ}C$ составляет 8,0...9,2 МПа. При этом у рассматриваемого гипотетического модельного блока наиболее крупным термическим узлом является, предположим, стояк диаметром $D_{ст}=32$ мм, а средняя толщина пятислойной КО, например, составляет $X=6$ мм, то есть отношение $D_{ст}/X = 32/6=5,3>5$. Габаритные размеры блока, например в плане, до 200 мм.

Таблица 6.48

Сводная таблица

Уровень	Коды ответов, выбранных по табл. 6.46						
	1	2	3	4	5	6	7
А							
Б							
В							
Г							
Д							
Е							
Ж							
З							
Условные номера способов выплавления модельного состава из КО в соответствии с табл. 6.47	1	2	3	4	5	6	7

Используя вышеуказанные исходные данные и табл. 6.46, вносим соответствующие коды в табл. 6.48, которая, для данного примера, примет вид табл. 6.49. Анализируя данные, приведенные в табл. 6.47 и табл. 6.49, можно сказать, что для исходных данных, принятых в данном примере, выплавление модельного состава из КО наиболее предпочтительно проводить в подкисленной воде (условный номер способа – 3) либо в расплаве модельного состава (условный номер способа – 4). Это заключение следует из того, что только для этих двух способов выплавления модельного состава в табл. 6.49 заполнены все табличные уровни (от А до З).

Таблица 6.49

Пример заполнения сводной таблицы

Уровень	Коды ответов, выбранных по табл. 6.46						
	1	2	3	4	5	6	7
А							
Б							
В							
Г							
Д							
Е							
Ж							
З							
Условные номера способов выплавления модельного состава из КО в соответствии с табл. 6.47	1	2	3	4	5	6	7

От принятого способа выплавления зависит не только длительность самой операции, но и потери модельного состава, сохранение его свойств, а также прочностные показатели.

Как было отмечено выше, до начала процесса выплавления модельный состав блока находится в плотном контакте с внутренней поверхностью КО и практически находится в замкнутом пространстве, ограниченном телом КО (формы). Медленный нагрев модельного состава в КО приводит к прогреву модели на всю её толщину и, соответственно, к значительному абсолютному объёмному расширению модельного состава.

В связи с тем, что КТЛР модельного состава на порядок больше аналогичного коэффициента материала КО, в процессе нагрева модельного блока возрастает силовое воздействие расширяющегося материала модели на КО. Поскольку КО обладают низкой податливостью, в них возникают напряжения, которые могут превысить предел прочности КО и привести к её разрушению (образованию трещин). По данным [51], величина напряжений, возникающих в теле КО при выплавлении из неё модельного состава, может достигать 3,5...5,0 МПа.

Силовое воздействие на КО со стороны модели в процессе её нагрева продолжается до тех пор, пока не расплывётся поверхностный слой модели и не начнёт вытекать из полости КО, образуя между модельным блоком и КО газовый зазор. С появлением зазора между КО и оплавленной поверхностью модели напряжения в КО резко понижаются.

КО, сформированные на поверхностях воздушнонаполненных моделей, разрушаются гораздо реже, поскольку воздушные пузырьки, находящиеся в модели, частично компенсируют расширение оплавившегося модельного состава в начальной стадии выплавления.

В большей степени разрушению подвержены КО, сформированные на поверхностях моделей из тугоплавких модельных составов, не содержащих воздушный наполнитель. То есть вероятность разрушения КО тем выше, чем больше КТЛР используемого модельного состава и чем выше температура его плавления.

Величина напряжений, создаваемых модельным составом в КО, зависит не только от свойств модельного состава, но и габаритных размеров самой модели и её отдельных частей. В этом отношении вполне естественно, что у крупногабаритных массивных моделей абсолютная величина термического расширения и, следовательно, величина образующихся напряжений больше, чем у тонкостенных и мелких моделей.

Для предупреждения разрушения КО при выплавлении из неё модельного состава используют ряд технологических приёмов, из которых наиболее эффективным является быстрый нагрев выплавляемого модельного состава. В случае быстрого нагрева блока в стенках выплавляемой модели формируется значительный температурный градиент между её поверхностью и центральной частью. В связи с относительно невысокой теплопроводностью модельного состава за время нагрева поверхностных слоёв модели до температуры плавления внутренние слои модели не успевают прогреться или прогреваются незначительно.

При такой высокой интенсивности нагрева абсолютная величина термического расширения модели к моменту начала плавления её поверхностного слоя будет значительно меньшей, чем в случае медленного нагрева (низкого температурного градиента в стенке модели) и, следовательно, величина напряжений в КО будет меньше.

В табл. 6.50 и табл. 6.51 приведены сравнительные данные о наиболее распространённых и известных способах выплавления моделей из КО.

Таблица 6.50

Характеристики способов выплавления модельного состава из КО

Теплоноситель	Режим удаления модельного состава			Вероятность образования трещины в КО	содержание воды (% по массе) в модельном составе после выплавления*	потери модельного состава **, %
	температура, °С	длительность тепловой обработки КО, мин	давление, МПа			
Пар	140-180	5-20	0,6-0,8	ОН	До 30	<5
Пар	110-130	10-25	0,1-0,12	Н	≤1	<5
ТВЧ, СВЧ	100-220	10-20	Атм***	ОН	≤1	15-20
Полигликоли ¹	~200	5-15	Атм	ОН	0	<5
Жидкий модельный состав	110-135	8-25	Атм	Н	0	10-25
Вода	90-95	8-25	Атм	С	≤5	5-10
Сухой горячий воздух	150-300	35-60	Атм	ОВ	≤1	10-25
Влажный, горячий воздух	120-170	12-25	Атм	Н	≤1	<15
Световое излучение → горячий воздух	1000 → 200	2 → 30	Атм	Н	≤1	10-25

Примечание. * – исходное содержание воды в модельном составе – не более 0,5%, ** – данные приведены для модельных составов, не содержащих твердых наполнителей и имеющих величину кинематической вязкости при 100°С менее 30 сСт. *** – Атм – выплавление при атмосферном давлении. ¹ – полигликоль – вязкая жидкость темного цвета с плотностью при 20°С - 0,98...1,20 г/см³, температура кипения – не ниже 150°С. ОН – очень низкая, Н – низкая, С – средняя, ОВ – очень высокая.

Таблица 6.51

Скорость нагрева КО при выплавлении модельного состава из КО [81]

Способ нагрева КО или выплавляющая среда	Напряженность в КО, Е·10 ⁴ , В/м	Температура теплоносителя, °С	Скорость нагрева КО, °С/мин
Высокочастотное электрическое поле (ТПЧ, СВЧ)	1,0		9
	1,7		20
	2,3		33
	4,7		57
Сухой горячий воздух*		200-220	2,5-7,5
Вода		100	13
Модельный состав		135	28
Водяной пар		170	37
Глицерин		200	50

Примечание.* – данные автора.

Анализируя данные, приведенные в табл. 6.50 и табл. 6.51, следует отметить, что наибольшую вероятность быть разрушенными имеют наиболее медленно нагреваемые блоки. То есть нагрев блоков сухим горячим воздухом при выплавлении из них модельного состава наиболее опасен с точки зрения сохранения целостности КО. Наименее опасными способами выплавления являются выплавление в среде перегретого пара, полигликолях и при СВЧ-нагреве. Из числа перечисленных способов, выплавление в полигликолях наиболее нежелательно, поскольку полигликоли в ряде модельных составов могут растворяться, значительно изменяя их свойства и делая модельные составы непригодными к дальнейшему использованию. Помимо этого, пропитка стенок КО полигликолем приводит к его существенному расходу и, соответственно, удорожанию отливки.

Выплавление модельного состава в сухом горячем воздухе. Выплавление модельного состава из КО в сухом горячем воздухе осуществляют в установках периодического или непрерывного действия, с газовым или электрическим нагревом воздуха, в условиях естественной конвекции или принудительной циркуляции воздуха в рабочем пространстве установки. Схемы некоторых установок периодического действия представлены на рис. 6.53.

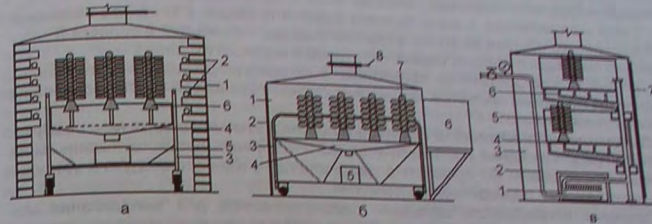


Рис. 6.53. Схема установок для выплавления модельного состава из КО сухим горячим воздухом:

- а: 1 – корпус печи; 2 – нагревательные элементы; 3 – тележка; 4 – сливной лоток; 5 – поддон для приема жидкого модельного состава; 6 – блок;
 б: 1 – корпус печи; 2 – дверь; 3 – тележка; 4 – сливной лоток; 5 – короб для приема жидкого модельного состава; 6 – калорифер; 7 – блок; 8 – задвижка вентиляционной системы
 в: 1 – коробка электронагревателя воздуха; 2 – труба подачи воздуха в установку; 3 – корпус установки; 4 – полка; 5 – блок; 6 – сопла; 7 – дверь

В установке, конструкция которой схематично представлена на рис. 6.53,а, нагрев воздуха до температуры 200...220 °С осуществляется от огнеупорной кладки установки и её нагревательных элементов. При этом движение воздуха в рабочем пространстве установки происходит за счёт его естественной конвекции. Последнее обстоятельство является причиной низкой скорости нагрева блока, которая, в свою очередь, приводит к частым разрушениям КО. Помимо этого, нагрев блоков, изготовленных с использованием химически не закреплённого жидкого стекла, в замкнутом пространстве приводит к повышению влажности воздуха и "распариванию" блоков.

В случае, когда выплавление модельного состава осуществляется из монолитной гипсовой формы или КО, заформованной в монолитный опорный наполнитель, форму помещают в шкаф-термостат, имеющий начальную температуру, равную температуре воздуха в цехе. После установки форм двери шкафа-термостата закрывают и нагревают формы до 250...280°С. При данной температуре формы выдерживают в шкафу в течение 12...24 ч.

В установке, схема которой представлена на рис. 6.53,б, нагрев воздуха осуществляют калорифером. При этом нагретый воздух вентилятором калорифера принудительно подается в рабочее пространство установки, что значительно увеличивает интенсивность теплопередачи к блокам и, соответственно, уменьшает вероятность разрушения КО. Кроме этого, постоянное удаление горячего воздуха и влаги из рабочего пространства установки через её вентиляционную систему предотвра-

щает "распаривание" КО, содержащих химически не закреплённые жидкостекольные слои.

Недостатком конструкции данной установки является направленность потока горячего воздуха в её рабочем пространстве, приводящая к неравномерности нагрева блоков и повышению опасности локального разрушения КО.

В установке [246], схема которой представлена на рис. 6.53, для предупреждения разрушения КО горячий воздух подают под давлением 0,5...1,0 атм струями, которые направляют непосредственно на модели ЛВ блоков.

Такая направленная подача горячего воздуха приводит к тому, что выплавление модельного состава из блока, в первую очередь, начинается в области ЛЧ, постепенно переходя в область стояка, питателей и моделей отливков.

Данный способ достаточно эффективен и производителен, однако его использование, по понятным причинам, ограничено блоками звеньевой сборки моделей на металлических стояках.

Выплавление модельного состава в потоке влажного горячего воздуха.

С целью предотвращения растрескивания КО и ускорения процесса выплавления модельного состава из КО проводят в среде влажного горячего воздуха в установках непрерывного и периодического действия.

Установка непрерывного действия, предназначенная для выплавления модельного состава из КО (для блоков с ЛПС типа I) в среде влажного горячего воздуха (см. рис. 6.54, а), представляет собой вертикальный цепной конвейер с подвесками, на которые устанавливают блоки ЛВ вниз.

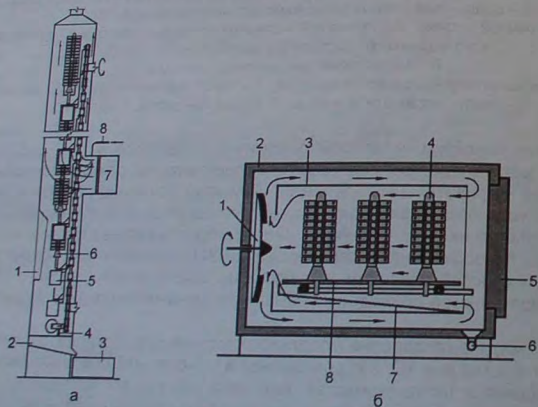


Рис. 6.54. Схема установки непрерывного действия (а) и установки периодического действия УВМ-ПВК (б) для выплавления модельного состава

Для сбора выплавленного модельного состава каждая подвеска снабжена индивидуальным приемником модельного состава 5. Установка и съём блоков 6 с подвесок осуществляют вручную через окно 1, расположенное в нижней части установки. Над окном 1 расположен калорифер 7, подающий в установку горячий воздух, и спрейер 8, через который осуществляется дозированная подача водяного

пара. Поднимаясь вверх, паровоздушная смесь нагревает блоки, что и приводит к выплавлению модельного состава из КО.

Расплавленный модельный состав вытекает из КО и стекает в приёмник. За расплавленные КО вручную снимают с подвесок конвейера через окно 1. После съёма расплавленный модельный состав сливается в лоток 2 и перетекает в приёмник 5 расплавления. Для перемещения приёмников с целью слива из них жидкого модельного состава в нижней части установки выполнен копир 4.

К числу способов выплавления модельных составов из КО в условиях принудительного движения увлажнённого горячего воздуха относится процесс ПВК. Процесс ПВК (высокоскоростной воздушной конвекцией) характеризуется высокой производительностью, низким содержанием влаги в возврате модельного состава, способствует повышению прочности КО, изготовленных на основе ГРЭС с М<0,7, и обеспечивает низкий уровень брака отливок по сортовым дефектам.

Процесс ПВК [217, патент РФ №1706112] реализован в установке выплавления модельного состава мод. УВМ-ПВК (установка выплавления моделей, паровоздушнo-конвективная), схема которой представлена на рис. 6.54, б.

Согласно рис. 6.54, б установка состоит из закрывающегося дверью 5 корпуса 2, внутри которого установлен внутренний кожух 3. Для выплавления во внутренний кожух, ЛВ вниз, на тележку 8 устанавливаются блоки 4, под которыми находится сборник модельного состава 7 со сливом 6. Для придания движения увлажнённому горячему воздуху, внутри корпуса установки расположен вентилятор 1 (движение пара в режиме выплавления модельного состава при работающем вентиляторе на схеме обозначено стрелками). Загрузку модельных блоков и выгрузку КО из установки осуществляют вручную при помощи подставки для тележки.

Технические параметры установки УВМ-ПВК приведены в табл. 6.52 [217].

Технические параметры установки УВМ-ПВК

Таблица 6.52

Параметры	Значения
Температура паровоздушной смеси, °С	120-170
Время напуска пара, с	30-40
Продолжительность цикла, мин	12-25
Производительность, блоков/ч	40-45
Внутренний диаметр камеры, м	1
Габаритные размеры загружаемой садки, м	1×0,62×0,5
Габаритные размеры, мм: длина (с тележкой) × ширина × высота	5000×2200×2400

Выплавление модельного состава в среде перегретого пара. На отечественных предприятиях выплавление модельного состава в среде перегретого пара, проводят в бойлерклавах (паровых автоклавах) производства ГУП "Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова" (Молдова) (см. Приложение 5), фирмы Leeds and Bradford Boiler Company Limited (Англия), фирмы Tettusi (Италия) и др.

Бойлерклав представляет собой стальной сосуд, работающий под давлением в пооперационном (ручном) режиме. В состав бойлерклава входит корпус, камера с дверью, питательное устройство, сборная ёмкость, шкаф аппаратурный и электрооборудование. Схема бойлерклава представлена на рис. 6.55.

При выплавлении модельного состава из КО в бойлерклаве выполняются следующие технологические операции:

- выработка пара необходимых параметров ($P=0,8 \text{ МПа}$, $t=170^\circ\text{C}$);
- раскрытие двери бойлерклава;

- установка выплавляемых блоков в кассету, ЛВ вниз;
- загрузка кассеты с блоками в камеру

- бойлерклава,
- закрывание двери камеры;
 - напуск пара в камеру;
 - выдержка блоков в камере (от 5 до 20 мин и более);
 - сброс давления (выпуск пара), раскрытие двери при атмосферном давлении внутри камеры;
 - разгрузка бойлерклава (извлечение кассеты из камеры).

Способ удаления модельного состава перегретым паром весьма технологичен и хорошо зарекомендовал себя при выплавлении модельных составов с температурой плавления до 100°C.

Существенным недостатком способа удаления модельного состава перегретым паром является насыщение выплавляемого модельного состава водой. Содержание воды в модельном составе зависит от плотности модельного состава в жидком состоянии и его вязкости.

При плотности жидкого модельного состава (при 100°C) менее 0,85 г/см³ или при величине кинематической вязкости жидкого модельного состава (при 100°C) до 30 сСт, содержание воды в выплавленном составе достигает 5%, по массе. У жидких модельных составов с плотностью, близкой к плотности воды, и величиной кинематической вязкости более 30 сСт содержание воды может достигать 20...30%. Помимо этого, выплавление модельного состава в бойлерклаве не решает вопрос по зольности модельного состава, которая повышается у модельных составов, с величиной кинематической вязкости менее 30 сСт от 0,03% до 0,08...0,15%, а у модельных составов с величиной кинематической вязкости более 30 сСт — от 0,02% до 0,20...0,35%. Поэтому для повторного использования модельный состав, выплавленный в бойлерклаве, требует обязательной регенерации.

Выплавление модельного состава в воде. На отечественных предприятиях для выплавления модельного состава в воде используют установки как собственной конструкции, так и установки, изготавливаемые на специализированных предприятиях. К числу последних относятся установки мод. 64511 и мод. 64531, описание и технические параметры которых приведены в Приложении 5.

Наиболее распространённые типы конструкций установок, используемых в цехах серийного производства литья, представлены на рис. 6.56 и рис. 6.57.

Для выплавления модельного состава в установках периодического действия, блоки помещают в корзину (см. рис. 6.56), которую на 15...20 мин погружают в горячую воду (температура воды 95...98°C). В процессе нахождения в воде блоки нагреваются до температуры окружающей их воды, модельный состав в блоках расплавляется и всплывает на свободную поверхность воды в ванне установки, поскольку плотность жидкого модельного состава, как правило, ниже плотности воды.

С поверхности воды в ванне установки жидкий модельный состав самотёком поступает в сливной (разделительный) лоток, где в результате отстаивания отделяется от воды и поступает на регенерацию. Вода, отделённая от модельного со-

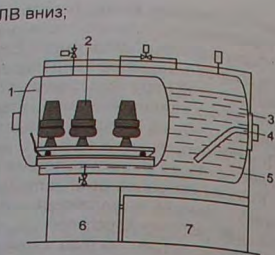


Рис. 6.55. Схема бойлерклава:
1 — камера; 2 — блок; 3 — вода;
4 — электроннагреватели; 5 — бойлер;
6 — разделитель воды и модельного состава; 7 — сборник модельного состава

става в лотке, с помощью центробежного насоса через патрубок закачивается в ванну установки, а выплавленные КО с корзиной извлекают из воды.

При выплавлении в воде блоки устанавливают ЛВ вверх либо вниз. В случае поддерживать в пределах от 95 до 98°C, не допуская её кипения. В противном случае всплывающие в воде пузырьки пара, за счёт эффекта флотации, занесут осью может вызвать засор отливок.

В случае установки блоков ЛВ вниз вероятность засора КО значительно снижается. В этом случае в процессе выплавления модельного состава корзину с модельного состава и вновь погружают в ванну для слива расплавленного мо-

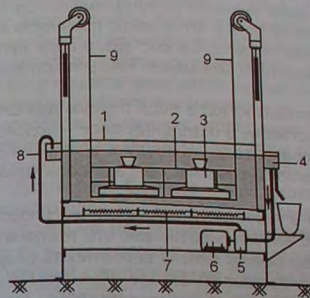


Рис. 6.56. Схема ванны для выплавления модельного состава из КО в горячей воде (электронагрев):
1 — ванна; 2 — корзина; 3 — КО;
4 — сливной лоток; 5 — центробежный насос;
6 — электродвигатель;
7 — нагревательные элементы;
8 — патрубок; 9 — тросы подъёмника

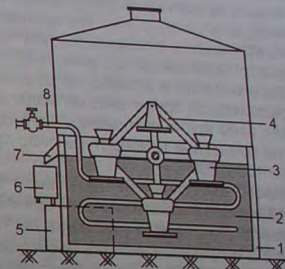


Рис. 6.57. Схема ванны для выплавления модельного состава из КО в горячей воде (нагрев воды паром):
1 — корпус ванны; 2 — вода;
3 — КО; 4 — карусельный механизм;
5 — приёмная ёмкость для воды;
6 — разделительная ёмкость;
7 — сливной жёлоб; 8 — паропровод

Если выплавление модельного состава из блоков проводят на установке карусельного типа (установке непрерывного действия), то блоки устанавливают на специальные лотки карусельного механизма (см. рис. 6.57). В результате непрерывного вращения карусели относительно её горизонтальной оси лотки, с установленными на них блоками, погружаются в горячую воду и через определённое время выходят из воды. Скорость вращения карусели установки рассчитана таким образом, чтобы время нахождения блока на лотке (в горячей воде) составляло 15...20 мин.

Основным недостатком установки выплавления модельного состава из КО карусельного типа является высокая вероятность засора КО частицами, отделившимися от поверхности выплавляемых блоков.

Воду, в которой проводят выплавление модельного состава с кислотным числом более 2 мг КОН/г, подкисляют соляной кислотой из расчёта 0,5...0,7% соляной кислоты от массы воды, либо 0,1...0,2% контакта Петрова. Подкисление воды проводят с целью предотвращения омыления модельного состава и предупреждения повышения его зольности, которая, например, с увеличением количества перепла-

58-37-5 в точечной среде повышается с 0,05% до 0,15% после первого переплава и до 0,22% после второго переплава [192].

Приобрести щелочные свойства, в ванне выплавления вода может по самым различным причинам, например, в результате её длительного использования для выплавления в ней КО, содержащих жидкокремнистые или кремнезольные слои (связующее со щелочными свойствами), при выплавлении модельного состава из плохо проветренных от аммиака КО и пр. Поэтому при выплавлении модельного состава из КО, изготовленных с использованием жидкого стекла, в воду добавляют повышенное количество кислоты, хлористого аммония или кислой соли (например, хлористого алюминия и др.).

Способ выплавления моделей в воде требует значительного запаса прочности КО, который обеспечивается повышенной концентрацией связующего и, для водных связующих, увеличением продолжительности сушки и (или) проведением химического закрепления огнеупорного покрытия на блоке. Этот запас прочности КО необходим в связи с тем, что при выплавлении модельного состава в воде прочностные КО несколько понижается (КО "распариваются"), что может явиться причиной их деформации или разрушения [89].

По окончании выплавления модельного состава из КО в воде первые два слоя КО оказываются пропитанными модельным составом, а остальные слои – водой. В связи с этим после выплавления в воде КО провяливают в течение суток при комнатной температуре либо просушивают в течение 1,5...3,5 ч при температуре 150...250°C.

Способ выплавления модельного состава в полигликоле аналогичен способу выплавления с использованием горячей воды с той лишь разницей, что температуру полигликолей можно увеличить до 150°C, тем самым снизив вероятность разрушения КО в процессе выплавления модельного состава из блоков. При этом "распаривания" и, соответственно, понижения прочности КО не происходит [89].

Выплавление модельного состава в расплаве модельного состава. Высокая температура кипения используемых модельных составов (более 200°C) даёт возможность использовать их в качестве теплоносителя для выплавления модельного состава из КО. Тем не менее, в связи с интенсификацией процесса испарения модельного состава, с повышением температуры, выплавление блоков в перегретом расплаве модельного состава проводят при температуре ~120°C.

Как правило, в расплаве модельного состава из блоков выплавляют модельные составы с температурой плавления до 100°C и величиной кинематической вязкости при 100°C не более 30...40 сСт, не содержащие легкоиспаряющихся жидких компонентов, а также воду и нерастворимый в пластификаторе твёрдый наполнитель.

Выплавление блоков в модельном составе имеет существенный недостаток, обусловленный пропиткой КО модельным составом, что влечёт за собой повышенный расход модельного состава, который может достигать 30% и более.

Несомненным достоинством выплавления в модельном составе является сохранение целостности КО и практически полное сохранение физико-химических свойств модельного состава, что даёт возможность его повторного использования после регенерации методом отстаивания в жидком состоянии. Кроме того, пропитка КО модельным составом повышает их прочность в "сыром" состоянии при комнатной температуре в 1,5 и более раз.

Прочие способы выплавления модельного состава из КО. Одним из известных способов выплавления модельного состава из КО является способ, основанный на использовании высокочастотного электромагнитного поля (нагрев ТВЧ или СВЧ-нагрев).

Отличительной чертой выплавления модельного состава из КО в высокочастотном электромагнитном поле является высокая скорость её нагрева, поскольку скорость нагрева КО зависит от её удельной проводимости как диэлектрика и пара.

Для выплавления модельного состава методом СВЧ-нагрева блоки предварительно пропитывают водой и располагают ЛВ вниз в нагревательной камере, где ком (водой) вызвана тем, что и КО, и модельные составы имеют низкие диэлектрические свойства, не позволяющие реализовать их нагрев токами СВЧ с требуемой интенсивностью.

Одним из недостатков всех установок, использующих ТВЧ или СВЧ, является высокая частота излучения, работа с которыми требует проведения определённых мер безопасности. Кроме того, генерирование тепла в самой КО позволяет достаточно быстро оплавить поверхностный слой модельного блока, что весьма положительно сказывается на качестве КО. Однако, образование воздушного зазора между КО и не расплавленной частью модельного состава в блоке приводит к резкому снижению скорости выплавления модельного состава. Тем не менее совмещение способов выплавления модельного состава токами СВЧ с последующим довыплавлением модельного состава в горячем воздухе делает данный способ весьма перспективным.

Достаточно быстрое и безопасное для целостности КО, расплавление поверхностного слоя модельного состава в выплавляемом блоке достигается в способе выплавления модельного состава термическим ударом (термоударом). Сущность способа выплавления модельного состава термоударом состоит в том, что, подготовленный к выплавлению блок на несколько секунд, помещают в печь с температурой 700...1000°C, после чего блок помещают в печь с температурой в рабочем пространстве 200...220°C и выдерживают при этой температуре до полного выплавления модельного состава из КО.

Основным недостатком данного способа является его ограниченность применения, вызванная конфигурационными особенностями блока и свойствами огнеупорных материалов, использованных для изготовления КО. По понятным причинам, данный способ целесообразно использовать для КО, изготовленных из огнеупорных материалов с низким КТЛР и для модельных блоков с относительно простой конфигурацией.

Уменьшить давление со стороны модельного состава на КО при выплавлении позволяет повышение содержания воздуха в модельном составе, например, до 18...30%, по объёму. С увеличением содержания воздуха в модельном составе понижается кажущаяся плотность модельного состава и, соответственно, его теплопроводность. Понижение теплопроводности модельного состава, при всех прочих равных условиях, позволяет увеличить температурный градиент в теле выплавляемой модели и достичь эффекта раннего плавления поверхностных слоёв модели в начале её прогрева. Кроме того, с увеличением пористости модельного состава, уменьшается теплоёмкость модели, что позволяет использовать для выплавления модели теплоносители с меньшей теплоёмкостью.

То есть изготовление моделей из воздушнонаполненного модельного состава предохраняет КО от разрушения в процессе выплавления модельного состава из блока. Причём вероятность разрушения КО тем ниже, чем больше содержание воздуха в модели. При этом следует напомнить, что с увеличением содержания воздуха в модели увеличивается длительность её охлаждения в пресс-форме и понижается прочность.

Для моделей, изготовленных из относительно тугоплавких модельных составов, содержащих воздух, процесс образования зазора между моделью ЛПС и стенками КО инициируется путём нанесения на поверхность ЛПС тонкого (менее 0,5 мм) слоя парафина или легкоплавкого воскоподобного сплава, например сплава парафина и стеарина, парафина и канифоли, парафина и нефтяного церезина и парафина и стearина, путём однородного окунания модели ЛПС в расплав легкоплавкого состава, до сборки модельного блока.

Рассматривая недостатки и преимущества вышеприведенных способов, следует отметить, что на сегодняшний день нет универсального способа выплавления модельного состава из КО, который бы полностью отвечал всем требованиям. По-видимому, исходя из вышеизложенного, при использовании воздушнонаполненных модельных составов, по-видимому, предпочтение следует отдавать способам выплавления в бойлерклавах, в том числе и ПВК-процессу. В случае выплавления модели в бойлерклавах, не содержащих воздух, по-видимому, предпочтение следует отдавать способу выплавления СВЧ-нагревом с последующим доплавлением остатков модельного состава в среде в шим, при необходимости, принудительно циркулирующего воздуха при температуре 120...170°C и атмосферном давлении (ПВК-процесс), либо довыплавление модельного состава в блоках проводить в среде горячего воздуха.

Хранение форм. Выплавленные формы хранят на стеллажах либо в подвешенных корзинах конвейеров-накопителей. При этом, в случае длительного хранения КО, их ЛВ (ЛЧ) и выпоры либо заклеивают бумагой, либо затягивают самоклеящейся полимерной плёнкой, либо закрывают колпачками (пластмассовыми, алюминиевыми и т.п.), что схематично представлено на рис. 6.58, либо, при хорошей устойчивости, небольшой массе и достаточной прочности, КО устанавливают на торец их ЛВ (ЛЧ).

Если предполагается использование КО в течение суток с момента выплавления из неё модельного состава, то ЛВ (ЛЧ) не заклеивают, а хранение КО осуществляют в любом положении, обеспечивающем КО устойчивое состояние и предупреждающем её засорение случайными частицами.

Как правило, длительность хранения КО в технологических процессах по производству литья по выплавляемым моделям не оговорена, то есть не ограничена. Тем не менее, практика производства литья методом выплавляемых моделей свидетельствует, что с увеличением длительности хранения КО возрастает их хрупкость и, как следствие, возрастает количество КО с трещинами, возникшими в процессе прокаливания и заливки КО, а также возрастает величина брака отливок по засору, в том числе и засору, выявляемому методами капиллярной дефектоскопии.

По-видимому, хрупкость КО приобретают в результате постепенного удаления из неё остатков РР и "старения" (потери пластичности) связующего вещества, использованного для изготовления КО.

Исследования, проведенные автором, позволяют рекомендовать следующую длительность хранения КО:

- КО, изготовленные на основе ГРЭС (M=0,2...0,7) или кремнезёма, или химически закреплённого жидкого стекла и выплавленные любым из известных способов (за исключением выплавления в расплаве модельного состава) – до 10 дней.

- КО, изготовленные на основе ГРЭС (M=0,2...0,7) или кремнезёма, или химически закреплённого жидкого стекла и выплавленные в расплаве модельного состава – до 45 дней.

6.6. Контроль качества керамических оболочковых форм

В цехах литья по выплавляемым моделям качество КО, помимо визуального осмотра на предмет их целостности, оценивают по величине предела прочности при статическом изгибе (при комнатной и повышенной температуре), газопроницаемости и газотворной способности. Значительно реже КО проверяют на содержание влаги (просушенность, высушенность), термостойкость, длительную жаростойкость, чистоту поверхности и пр.

За рубежом КО контролируют на прочность при разрыве, изгибе и раскаливаемости, а также определяют газопроницаемость КО. При этом для определения газопроницаемости и прочности КО используют полые образцы сферической или цилиндрической формы.

Просушенность КО. Контроль просушенности слоёв КО осуществляют с целью определения возможности нанесения последующего слоя огнеупорного покрытия на блок или готовности КО к операции выплавления из неё модельного состава.

Для количественной оценки содержания влаги в готовой КО используют метод взвешивания образца КО до и после его сушки.

Для испытания используют образец КО массой 5...10 г. Сушку образца проводят при температуре 100...110°C в течение 1,5 ч. Исследования проводят не менее чем на трёх образцах.

Содержание влаги в исследуемом образце (m_B) рассчитывают по формуле (%):

$$m_B = \frac{100 \cdot (m_1 - m_2)}{m_2},$$

где m_1 и m_2 – масса образца КО до и после его сушки, соответственно, г.

За истинное принимают среднее арифметическое значение трёх величин m_B .

Прочность. Прочность – параметр КО, требования к которому, как правило, изменяются в процессе изготовления отливки. То есть на стадии изготовления, прокаливания и заливки металлом необходимо иметь достаточно прочную КО. В то же время для облегчения процесса удаления КО с поверхности отливки (выбивки отливки) прочность КО должна быть минимальной.

Многообразие технологических схем получения отливок способом литья по выплавляемым моделям предопределило необходимость контроля прочности "сырых" КО при температуре 20...25°C, КО, нагретых до температуры 900...1000°C и 1450°C, а для КО, используемых для получения отливок методом направленной кристаллизации, дополнительно определяют прочность и предварительно прокалённых КО при 20...25°C и 1450°C.

Показателем прочности КО являются результаты её испытаний на статический изгиб по трёхточечной схеме (см. рис. 4.28).

Испытаниям подвергают образцы КО пластинчатой формы, изготовленные на модели, схема которой представлена на рис. 6.59 (на рис. 6.59 буквой Z обозначена поверхность, с которой в процессе нанесения огнеупорного покрытия на модель удаляют



Рис. 6.58. Схемы заклейки ЛВ (1) бумагой (2) и установки на ЛВ колпачка (3)

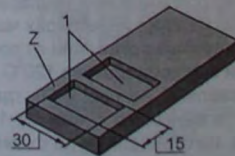


Рис. 6.59. Модель для изготовления пластинчатых образцов КО

фильтрация воздуха, см²; τ – время фильтрации воздуха, с; p – давление, при котором происходит фильтрация воздуха, мм. вод. ст.

При использовании прибора мод. 042 для определения газопроницаемости при высокой температуре следует учесть изменение объема воздуха при его нагреве до этих температур. Дело в том, что в испытаниях с использованием прибора мод. 042 объем воздуха, проходящего через тело испытываемого образца при 20°C, составляет U₂₀=2000 см³. При движении в кварцевой трубке в муфельной печи воздух, поступающий из-под колокола прибора, нагревается практически до температуры (t) испытываемого образца, и соответственно, увеличивается в объеме. В результате нагрева и расширения воздуха через образец во время испытаний происходит U₂₀=2000 см³ воздуха, а значительно больший объем. Этот объем воздуха в первом приближении можно рассчитать по формуле:

$$U_t = \frac{U_{20} \cdot (273 + t)}{293}, \quad (6.30)$$

где U_t – объем воздуха, прошедший через испытываемый образец при температуре t, см³.

Таким образом, при проведении испытаний на приборе мод. 042, с учётом формулы (6.30), формула (6.29) примет вид (см³/(г·мин) или ед.):

$$K_t = \frac{2000 \cdot h \cdot (273 + t)}{293 \cdot F \cdot \tau \cdot p}. \quad (6.31)$$

Размерность показателя газопроницаемости принято называть единицами. Для КО газопроницаемость в интервале от 20 до 1100°C изменяется (в среднем) от 0,1 до 5 ед.

Практически любая форма имеет полости, из которых при заливке удаление воздуха затруднено. В этих случаях, важно знать минимально допустимую величину газопроницаемости формы, при которой обеспечивается заполнение расплавом всех её рабочих полостей.

Минимально допустимую газопроницаемость прокалённой КО при её заливке металлом можно рассчитать по формуле [165; 329]:

$$K_{t, \min} = \frac{2 \cdot X_2}{\pi \cdot R_0 \cdot \Delta p} \cdot \left[\frac{b_2 \cdot (t_{3\text{ал}} - t_2)}{\rho_1^1 \cdot c_1^1 \cdot (t_{3\text{ал}} - t_1)} \right]^2, \quad (6.32)$$

где X₂ – толщина стенки КО; b₂ – коэффициент теплоаккумулирующей способности КО при её начальной температуре t₂; t_{3ал} – температура металла при заливке в КО; t₂ – температура КО в момент её заливки металлом, °C; π=3,14; R₀ – приведенная толщина тонкой части отливки; Δp – давление расплава; ρ₁¹ – плотность жидкого металла; c₁¹ – удельная теплоёмкость расплава; t₁=t₁+(15...20)°C; t₁ – температура ликвидус заливаемого сплава.

$$\Delta p = H_p \cdot \rho_1^1 \quad (6.33)$$

где H_p – высота уровня расплава в ЛВ над рассматриваемым горизонтальным сечением КО.

Газотворная способность (газотворность). Газотворная способность (газотворность) КО определяется объемом газов, выделившихся при нагреве образца КО массой в 1 г в интервале температур от 20 до 1000°C.

Газотворность КО существенно зависит от температуры и длительности её прокаливания, природы и способа приготовления связующего вещества и т.п. С увеличением температуры и длительности прокаливания газотворность КО значительно понижается вплоть до 750...850°C. Дальнейшее повышение температуры (более 750...850°C) приводит к незначительному понижению газотворности КО, которая, тем не менее, сохраняется у КО с различными связующими, вплоть до 1600°C [320]. При этом газотворность КО, изготовленных на основе связующих у которых РР является вода, в интервале температур 900...1100°C в два раза ниже, чем газотворность КО, изготовленных на основе связующих у которых РР является органическое вещество, а связующее, приготовленное на основе ЗИЛ-Эф, в интервале 850...1100°C практически не газотворно.

Газотворность КО состоит из нескольких слагаемых, которые в различных температурных интервалах нахождения КО являются преобладающими. В частности, при нагреве "сырой" КО до 100...150°C из КО, в основном, испаряется вода и (или) органический РР огнеупорной суспензии, в интервале 120...400°C из КО, в основном, выделяются газообразные продукты деструкции модельного состава, в интервале 300...500°C из КО, в основном, выделяются газообразные продукты деструкции связующего вещества, в интервале 500...1000°C из КО, в основном, выделяются СО и СО₂ – продукты окисления пироуглерода, образовавшегося в результате сгорания остатков модельного состава в КО.

Независимо от способа выплавления модельного состава из КО, в ней остается определённое количество модельного состава. Поэтому последующее прокаливание КО приводит к деструкции остатков модельного состава, их частичному сгоранию и адсорбции выделяющегося при этом углерода в порах и на рабочей поверхности КО. Количество пиролитического углерода, осевшего в порах и на рабочей поверхности КО в процессе прокаливания составляет, по данным разных авторов, от 0,01 до 0,05% от массы КО. В частности, по данным [194], содержание пиролитического углерода в КО, прокалённых в электрических печах, составляет 0,03...0,05% (по массе), а содержание окисленного пироуглерода в КО, прокалённых в газовых печах, – 0,015...0,020%.

Таблица 6.57

Содержание углерода (%С) и потери после прокаливания (%П.П.П.) КО в различных средах

Состояние КО	С, %	П.П.П., %
До прокаливания	5,6	9,5
Прокаливание при 920 °С в ОС	0,05	0,16
Прокаливание при 920 °С в ВС	0,05	0,12

Примечание. ОС – окислительная среда, ВС – восстановительная среда.

При всех прочих равных условиях содержание пиролитического углерода в прокалённых КО не зависит от химических свойств газовой среды, в которой осуществляется прокаливание КО, о чём свидетельствуют результаты исследований, полученные А.Д. Чулковой (см табл. 6.57.).

С целью понижения температуры прокаливания КО, авторы работы [213] КО прокаливали в вакууме. Установлено, что нагрев КО до 550°C с последующей выдержкой в вакууме при P=200...200 мм рт. ст. в течение 5 мин, напуском воздуха в камеру и выдержкой КО до 3 мин на воздухе при атмосферном давлении, до полного прекращения горения, позволяет понизить остаточное содержание пиролитического углерода в КО до 0,02...0,03%, что соответствует содержанию углерода в КО,

каждый слой огнеупорного покрытия до начала его сушки). Как правило, размеры испытываемых образцов КО составляют 15х30х(3...5) мм.
Прочность керамических образцов рассчитывают по уравнению (МПа):

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (6.27)$$

где P – нагрузка, при которой разрушился образец, H ; l – расстояние между опорами, m ; b и h – ширина и высота образца в месте его разрушения при испытаниях соответственно, m .

Прочность КО в непрокалённом ("сыром") и прокалённом состоянии зависит от большого числа параметров: технологии приготовления и типа связующего материала, состава огнеупорной суспензии, длительности использования огнеупорной суспензии, качества и способа подготовки обсыпочных материалов, режима и среды сушки огнеупорного покрытия на модельных блоках, остаточного влагосодержания КО, режима прокаливания КО и т.п. Повысить прочность КО можно за счёт использования оптимального количества связующего вещества в огнеупорной суспензии, повышения дисперсности ПМ (наполнителя суспензии), снижения пористости КО, пропитки КО негидролизированным этилсиликатом и т.п.

В качестве примера приведём данные, полученные автором, по исследованию влияния размеров зёрен кварцевого песка и способа их подготовки на прочность "сырых" комбинированных КО, изготовленных с использованием двух суспензий – суспензии на основе жидкого стекла и суспензии на основе АХФ. Для изготовления КО использовался кварцевый песок, предварительно просушенный в течение часа: в одном случае – при температуре 150...170°C, в другом случае – при 350...370°C. Просушенные пески рассеивали по фракциям. Последовательность нанесения огнеупорных суспензий на модельный блок проводили по следующим схемам:

Схема 1 – слой № 1 – суспензия на основе жидкого стекла (содержание SiO_2 – 12%);
слой № 2 – суспензия на основе жидкого стекла (содержание SiO_2 – 18%);
слой № 3 – суспензия на основе АХФ;
слой № 4 – суспензия на основе жидкого стекла (содержание SiO_2 – 18%).

Схема 2 – слой № 1 – суспензия на основе жидкого стекла (содержание SiO_2 – 12%);
слой № 2 – суспензия на основе АХФ;
слой № 3 – суспензия на основе жидкого стекла (содержание SiO_2 – 18%);
слой № 4 – суспензия на основе АХФ.

При изготовлении образцов первый слой КО во всех случаях обсыпали кварцевым песком с преобладающим размером частиц 160 мкм, все последующие слои КО обсыпали песком одной фракции. Сушку каждого слоя проводили при температуре 22...25°C, при скорости движения воздуха 2,0...2,2 м/с в течение четырёх часов. После окончания сушки последнего слоя образцы КО вручную отделяли от поверхности моделей (см. рис. 6.59) и в течение часа сушили при температуре 120°C.

Результаты определения прочности образцов представлены на рис. 6.60, где показатели предела прочности "сырых" образцов, изготовленных по схеме № 1, выделены серым цветом, показатели прочности образцов, изготовленных по схеме № 2, выделены чёрным цветом.

Анализ гистограмм показывает, что наибольшей прочностью обладают образцы КО, изготовленные по схеме нанесения огнеупорного покрытия № 2 с преобладающей фракцией обсыпочного песка от 0,2 до 0,4 мм. У образцов КО, изготовленных

по схеме № 1, наибольшей прочностью обладают образцы, для обсыпки которых был использован песок с размером зёрен от 0,315 до 0,63 мм.

Следует отметить, что использование для обсыпки блоков предварительно просушенного кварцевого песка при температуре 350...370°C, независимо от размера зёрен песка и схемы нанесения огнеупорных суспензий на модельные блоки, привело к понижению прочности непрокалённых КО на 20...40% по сравнению с аналогичными образцами, изготовленными на кварцевом песке, предварительно просушенном при 150...170°C.

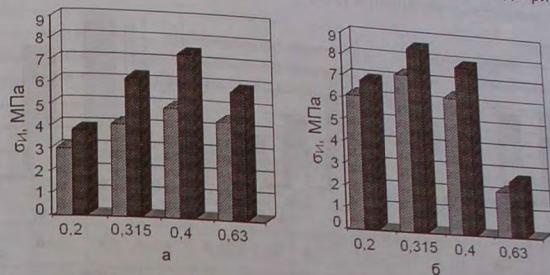


Рис. 6.60. Прочность "сырых" кварцевых КО: а – кварцевый песок просушен при 350...370°C; б – кварцевый песок просушен при 150...170°C

При всех прочих равных условиях, прочность КО предопределяется природой материалов, используемых для её изготовления.

В подтверждение сказанному на рис. 6.61 представлена полученная автором гистограмма прочности "сырых" КО, изготовленных на основе: 1 – ГРЭС (M=0,57), кварца пылевидного и кварцевого песка; 2 – ГРЭС (M=0,57), дистен-силлиманитового концентрата и электрокорунда; 3 – ГРЭС (M=0,57), порошкового и зернистого электрокорунда; 4 – кремнезоля, кварца пылевидного и кварцевого песка; 5 – кремнезоля, дистен-силлиманитового концентрата и электрокорунда; 6 – кремнезоля, порошкового и зернистого электрокорунда. Во всех исследованных вариантах изготовления КО содержание связующего вещества (SiO_2) в используемых огнеупорных суспензиях составляло 19,5±0,5%.

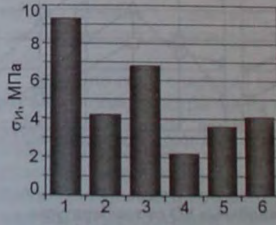


Рис. 6.61. Прочность "сырых" КО

Во всех случаях использования ГРЭС условная вязкость огнеупорных суспензий (по вискозиметру ВЗ-4) составляла: для слоя № 1 – 45 с, для второго и последующих слоёв КО – 32 с. Во всех случаях использования кремнезоля условная вязкость применяемых огнеупорных суспензий (по ВЗ-4) составляла: для слоя № 1 – 70 с, для второго и последующих слоёв КО – 37 с.

Сушку слоёв огнеупорного покрытия на основе ГРЭС проводили в воздушно-аммиачной среде при относительной влажности воздуха 85%, сушку слоёв огнеупорного покрытия на основе кремнезола проводили на воздухе при температуре 24...25°C, относительной влажности воздуха 62-1% и скорости движения воздуха 3,2±0,2 м/с.

На рис. 6.62 и рис. 6.63, соответственно, представлены гистограммы и зависимости прочности КО, изготовленных на основе ГРЭС, от величины М и типа используемых огнеупорных материалов [217].

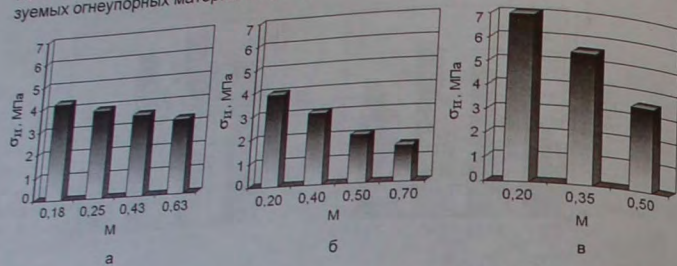


Рис. 6.62. Предел прочности при статическом изгибе (при 20...25°C) предварительно прокалённых КО: а – кварц пылевидный (наполнитель суспензии) + песок кварцевый (обсыпка блоков); б – кварц пылевидный + электрокорунд белый; в – дистен-силлиманит пылевидный + электрокорунд белый

Анализ зависимостей, представленных на рис. 6.62, показывает, что с увеличением М прочность КО понижается. При этом наибольшей прочностью обладают КО, изготовленные на основе дистен-силлиманита (наполнитель огнеупорной суспензии) и белого электрокорунда (обсыпчный материал) при М=0,20...0,25.

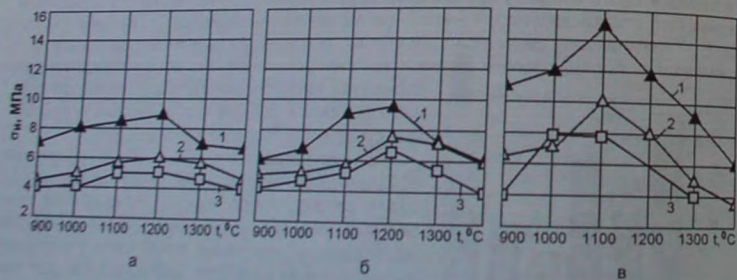


Рис. 6.63. Зависимость прочности предварительно прокалённых КО от температуры: а – кварц пылевидный + песок кварцевый (1 – М=0,20–0,25; 2 – М=0,40–0,45; 3 – М=0,60–0,63); б – кварц пылевидный + электрокорунд (1 – М=0,20–0,25; 2 – М=0,35–0,40; 3 – М=0,50–0,55); в – дистен-силлиманит пылевидный + электрокорунд (1 – М=0,20–0,25; 2 – М=0,30–0,35; 3 – М=0,50–0,55)

При высокой температуре (см. рис. 6.63) наибольшей прочностью обладают КО, нагретые до ~1100°C, что объясняется повышением степени спекания связующего

(SiO₂ от этилсиликата) с увеличением температуры. В то же время снижение прочности самого материала связующего (SiO₂ от этилсиликата), объясняется понижением тем же повышением температуры.

В табл. 6.53 приведены значения величины прочности "сырых" и предварительно прокалённых образцов КО при 20°C в зависимости от величины зерна обсыпчного материала (электрокорунда), мольного соотношения М в ГРЭС и материала огнеупорного наполнителя суспензии [99].

Таблица 6.53
Зависимость прочности КО при 20°C от величины зерна обсыпчного материала (электрокорунда), мольного соотношения М и материала огнеупорного наполнителя суспензии

Материал огнеупорного наполнителя суспензии	σ _{из} , МПа											
	М=0,3						М=0,5					
	величина зерна обсыпки слоёв № 1, № 2, № 3 и № 4 соответственно											
	20, 40, 50, 63		20, 63, 63, 63		20, 63, 80, 80		20, 40, 50, 63		20, 63, 63, 63		20, 63, 80, 80	
	С	П	С	П	С	П	С	П	С	П	С	П
Электрокорунд	5,7	9,7	5,3	9,3	8,6	8,7	7,5	7,1	4,8	7,4	2,7	7,1
Дистен-силлиманит	4,4	3,5	4,2	3,4	4,1	3,0	4,2	3,5	4,1	3,4	3,2	3,0

Примечание. С – "сырая" КО, П – прокалённая КО.

Данные табл. 6.53 свидетельствуют о том, что прочность КО, для изготовления которых в огнеупорной суспензии использовали порошки электрокорунда, значительно выше прочности КО, изготовленных на основе суспензии с дистен-силлиманитовым наполнителем. При этом прочность прокалённых КО с мольным соотношением М=0,3 более высокая, чем у КО с М=0,5. Кроме того, увеличение фракции обсыпчного материала для второго и последующих слоёв КО приводит к некоторому понижению прочности КО в "сыром" и прокалённом состоянии.

Прочность КО также зависит от режима сушки и остаточного содержания РР в слоях КО. В частности, для КО, изготовленных на основе ГРЭС со спиртовым РР, весьма важным параметром, после нанесения очередного слоя огнеупорного покрытия, является длительность выдержки блока на воздухе до его сушки в парах аммиака.

Сама по себе операция выдержки блока на воздухе с нанесённым на него слоем огнеупорного покрытия до сушки в парах аммиака преследует цель удаления из покрытия блока РР, поскольку количество остаточного содержания РР в каждом слое КО до начала сушки в парах аммиака предопределяет прочность КО. Полное удаление (испарение) РР из каждого слоя КО – достаточно длительный процесс, продолжительность которого возрастает с каждым последующим слоем КО, и, по данным [172], составляет: для второго слоя – 100 мин, для третьего слоя – 180 мин, для четвёртого слоя – 330 мин. Тем не менее, при сушке каждого слоя КО, нет необходимости стремиться к полному удалению РР из КО.

По данным [172], выдержку блоков на воздухе, перед сушкой в аммиаке, следует прекращать при достижении содержания спирта в слое (КО), равного 0,25% (по массе). При меньшем или большем содержании остаточного количества спирта прочность изготовленной КО понижается, о чём свидетельствует зависимость пре-

дела прочности "сырых" КО при статическом изгибе (при 20°C) от её влагосодержания (спиртосодержания), представленная на рис. 6.64.

Применительно к КО, изготовленным на основе жидкого стекла, кремнезола или ГРЭС (M=0,2...0,7), сушку можно считать оконченной при достижении содержания влаги в слоях КО 0,5...1,2%.

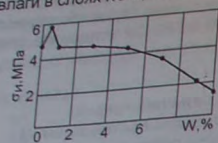


Рис. 6.64. Зависимость прочности "сырой" КО от её влагосодержания

силлиманит пылевидный и электрокорунд белый (2). В качестве порообразующего вещества использовали порошок модельного состава Р-3 с размером частиц до 50 мкм (для введения в огнеупорную суспензию) и гранулы модельного состава с размером от 150 до 200 мкм (для введения в обсыпный зернистый материал).

Анализ зависимостей, представленных на рис. 6.65, показывает, что с увеличением пористости КО их прочность понижается. При этом прочность КО, изготовленных на основе кварцевого песка и пылевидного кварца, в "сыром" состоянии (при 20°C) выше прочности образцов, изготовленных на основе электрокорунда и дистен-силлиманита пылевидного (см. рис. 6.65, а). Однако при 950°C прочность электрокорундовых КО выше прочности КО, изготовленных на основе кварцевого песка (см. рис. 6.65, б).

Влияние величины пористости КО, изготовленных на основе зернистого и пылевидного кварца, а также на основе электрокорунда и дистен-силлиманита пылевидного, на их прочность в зависимости от температуры, а также на величину деформации КО в интервале температур от 997°C до 1297°C исследовали в работе [332].

Исследования проводили на образцах КО, изготовленных на основе ГРЭС, при M = 0,25. Гидролиз проводили совмещённым способом при содержании условного SiO₂ 15...17%. Для первого слоя керамических образцов использовали огнеупорную суспензию с условной вязкостью 50...55 с по ВЗ-4, для второго и последующих слоёв условная вязкость огнеупорной суспензии составляла 20...22 с.

Увеличения пористости керамических образцов достигали путём ввода в огнеупорную суспензию и обсыпный материал выгорающих материалов органического происхождения (древесных опилок — 6% в суспензию, технической мочевины — в обсыпный материал). Сушку слоёв огнеупорного покрытия проводили в воздушно-аммиачной среде. Варианты использования огнеупорных и выжигаемых материалов при изготовлении КО приведены в табл. 6.54.

Прочность КО, при всех прочих равных условиях, зависит от их пористости (кажущейся плотности материала КО).

В качестве примера, на рис. 6.65 представлены зависимости влияния пористости КО (Π_{КО}) на их прочность при 20°C и 950°C, полученные автором. В исследованиях использовали КО, изготовленные на основе ГРЭС (M=0,3), у которых в качестве наполнителя огнеупорной суспензии и для обсыпки образцов были использованы кварц пылевидный и кварцевый песок (1) соответственно, а также, соответственно, дистен-силлиманит пылевидный и электрокорунд белый (2).

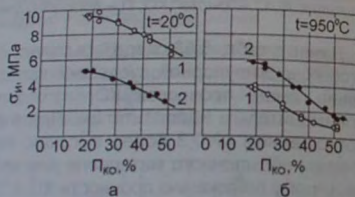


Рис. 6.65. Зависимость прочности КО от величины их пористости

Варианты использования материалов при изготовлении КО

КО	Пылевидный наполнитель огнеупорной суспензии	Номер состава	Обсыпный материал для:			
			2-го и последующих слоёв			
			1-го слоя	песок кварцевый 1К0315А	электрокорунд №50	карбамид молотый
Корундо-дистен-силлиманитовая	Дистен-силлиманит	1	Электрокорунд № 20	-	-	
		2		100	-	
		3		95	5	
Кремнезёмистая	Кварц пылевидный	4	Кварцевый песок 1К016А	80	20	
		5		100	-	
		6		95	-	
				80	20	

Таблица 6.54

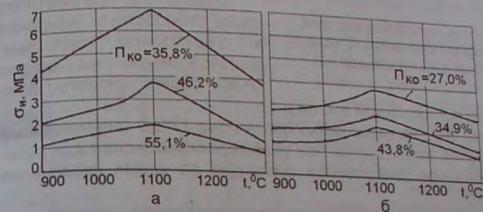


Рис. 6.66. Зависимость прочности корундо-дистен-силлиманитовых (а) и кремнезёмистых (б) КО от их пористости и температуры

Результаты определения прочности КО представлены на рис. 6.66, где величина пористости КО (Π_{КО}) обозначена в % около соответствующей кривой.

Представленные на рис. 6.66 зависимости свидетельствуют о том, что прочность КО с увеличением пористости понижается, но при повышении температуры — повышается, достигая максимального значения при ~1100°C. При этом величина деформации кремнезёмистых КО в 3...4 раза ниже, чем у корундо-силлиманитовых.

Прочность КО при высокой температуре, помимо всего прочего, зависит от начальной скорости нагрева КО при прокаливании. Иначе говоря, прочность КО, заформованной в опорный наполнитель, зависит от теплофизических свойств материала наполнителя и толщины его слоя между КО и стенкой опоки, а также от начальной температуры в прокалочной печи. У КО, не заформованной в опорный наполнитель, при всех прочих равных условиях, прочность всецело зависит от начальной температуры в печи прокаливания.

В некоторых цехах технологические схемы заливки КО предполагают предварительное охлаждение КО до заливки, что у прокалённых КО, изготовленных на основе кварцевого песка, приводит к понижению их прочности [320]. При этом наиболее значительное понижение прочности наблюдается у резко охлаждённых КО, которое происходит при их выдержке вне прокалочной печи до заливки, при формовке прокалённых (нагретых) КО в холодный опорный наполнитель и т.п.

С целью повышения прочности и термостойкости КО "армируют" слюдой [9] или фарфоровой крошкой [10], используя их в качестве обсыпного материала одно-двух слоёв КО, используют рубленое на длину 5...15 мм стекловолокно [252], добавляя его в огнеупорную суспензию, для изготовления блоков используют огнеупорные материалы с низкой величиной КТЛР и пр.

В ряде случаев для повышения прочности КО в огнеупорную суспензию дополнительно вводят специальные упрочняющие ПМ.

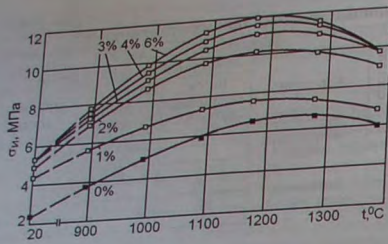


Рис. 6.67. Зависимость прочности электрокорундовой КО от содержания в огнеупорной суспензии Cr_2O_3 (содержание Cr_2O_3 указано в %, по массе)

миниевого порошка, порошка легкоплавкой эмали и т.п.

Помимо этого, прочность КО, изготовленных на основе ГРЭС (совмещённый способ гидролиза этилсиликата), повышается при увеличении интенсивности перемешивания исходных компонентов огнеупорной суспензии во время проведения гидролиза этилсиликата [321].

Термическая стойкость. Термостойкость (термическая стойкость) — способность КО, не разрушаясь, противостоять термическим напряжениям, возникающим в КО в результате изменения температуры КО при нагреве или охлаждении.

Термостойкость зависит от величины КТЛР, теплопроводности, теплоёмкости, плотности и структуры материала КО, его упругих свойств, толщины стенки КО, а также от формы и размеров КО.

Обычно термостойкостью для огнеупорных изделий оценивают числом тепломен (циклов нагрева и охлаждения), выдерживаемых образцом (изделием) до появления трещин, частичного или полного разрушения образца, либо температурного градиентом, при котором начинают возникать трещины в образце.

Применительно к КО термостойкость оценивают величиной температурного градиента (разницей между начальной температурой КО и начальной температурой в предкалочной печи), при котором в КО появляются трещины.

Поскольку трещины в КО образуются в результате превышения внутренними напряжениями величины предела прочности материала КО, то для теоретической оценки влияния параметров на величину внутренних напряжений в КО, а, следовательно, и её термостойкости, можно использовать формулу У.Д. Кингери [109], которая для рассматриваемого случая имеет вид:

$$|\sigma_{\text{вн}}| = \frac{k_{\text{КО}} \cdot E_{\text{КО}} \cdot (T_1 - T_2)}{1 - \mu_{\text{КО}}}, \quad (6.28)$$

где $\sigma_{\text{вн}}$ — величина внутренних напряжений в стенке КО, МПа; $E_{\text{КО}}$ — модуль упругости материала КО, МПа; $k_{\text{КО}}$ — КТЛР материала КО, град⁻¹; $\mu_{\text{КО}}$ — коэффициент Пуассона материала КО; T_2 и T_1 — температура на внешней и внутренней поверхности КО соответственно, К.

В частности, введение частиц Cr_2O_3 размером 0,01...0,05 мкм в огнеупорную суспензию, приготовленную на основе ГРЭС и пылевидного дистен-силлиманиита, способствует повышению прочности электрокорундовой КО как при комнатной, так и высокой температуре, о чём свидетельствуют зависимости, представленные на рис. 6.67 [217].

Повышению прочности КО также способствует введение в огнеупорную суспензию, приготовленную на основе ГРЭС, борной кислоты, алю-

Как следует из уравнения (6.28), возникающие в стенке КО термические напряжения (по абсолютной величине) тем меньше, чем меньше КТЛР, модуль упругости и коэффициент Пуассона материала КО, а также чем меньше перепад (градиент) температур по сечению стенки. Поскольку у используемых огнеупорных материалов значения модулей упругости и коэффициентов Пуассона различаются незначительно, то решающее значение приобретает величина КТЛР материала КО и гра-

дуют КО, выполненные из материалов с низкой термостойкостью, обла- проводностью, низкой теплоёмкостью и с меньшей толщиной КТЛР, высокой тепло- КТЛР материала КО, в основном, предопределяется величиной КТЛР материалов, используемых для изготовления КО (пылевидного и зернистого огнеупорного материала), а также величиной пористости материала стенок КО. Чем меньше величина КТЛР используемых материалов и больше пористость самого материала КО, тем выше термостойкость КО.

Для сравнения на рис. 6.68

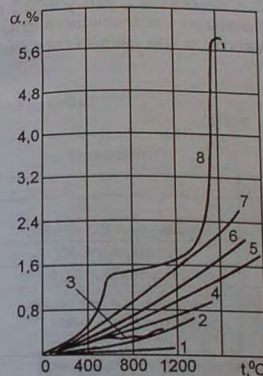


Рис. 6.68. Зависимость коэффициента линейного расширения огнеупорных материалов от температуры:

- 1 — кварц плавленный (НК);
- 2 — циркон; 3 — шамот;
- 4 — силлиманит; 5 — электрокорунд белый; 6 — BeO ; 7 — периклаз; 8 — кварц кристаллический

представлены зависимости изменения коэффициента линейного расширения некоторых огнеупорных материалов от температуры.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 6.68, свидетельствует о том, что наименьшей величиной коэффициента линейного расширения, из числа представленных огнеупорных материалов, обладает плавленный кварц, а наибольшей — кварц кристаллический (кварцевый песок). Соответственно КО, изготовленные на основе плавленного кварца, обладают значительно большей термостойкостью, чем КО, изготовленные на основе кварцевого песка и пылевидного кварца.

При всех прочих равных условиях, градиент температуры по толщине стенки КО зависит от величины коэффициента теплопроводности и теплоёмкости материала КО. Поскольку коэффициенты теплопроводности и теплоёмкости материалов, используемых для изготовления КО, различаются незначительно, то реальным способом повышения термостойкости КО также является значительное увеличение пористости материала стенок КО, например, за счёт использования в огнеупорной суспензии и (или) для обсыпки слоёв на блоке материала, удаляемого из тела КО до её прокаливания.

Помимо увеличения общей пористости материала стенок КО, термостойкость КО повышают путём создания внутри её буферного слоя (слоёв) или газового зазора между слоями КО, то есть путём создания слоистой структуры КО.

Термостойкость КО [248] также повышается при использовании пористых огнеупоров для обсыпки слоёв КО. В качестве пористых огнеупоров используют гранулы золы уноса тепловых электростанций, керамзит, дробленый пеношамот и пр. Причём, при использовании указанных материалов термостойкость КО повышается

в 2 раза, а газопроницаемость – в 1,5...2,0 раза. При этом использование гранул вышеупомянутых материалов с закрытой пористостью понижает прочность КО, а использование гранул с открытой пористостью – повышает прочность КО.

К числу пористых огнеупоров, используемых в качестве обычного материала для изготовления блоков для повышения трещиностойчивости, прочности и толшины слоёв КО, также относятся вспученный перлит [287], вспученный вермикулит и т.п.

Газопроницаемость. Газопроницаемость КО зависит от размеров и количества сквозных капиллярных каналов в её теле (стенках), вязкости газа, фильтрующего через эти капилляры, и пр. В свою очередь, размеры и количество сквозных капиллярных каналов в теле КО зависят от типа используемого связующего вещества и его концентрации в огнеупорной суспензии, типа используемого РР в огнеупорной суспензии, коэффициента наполнения огнеупорной суспензии ПМ, условий сушки КО, природы используемого огнеупорного материала для обсыпки слоёв КО, режима прокаливания КО и т.д.

По данным А.Д. Чулковой и В.Н. Иванова [320], газотворная способность ниже, а газопроницаемость выше у КО, изготовленных на водных ГРЭС, чем у ГРЭС с органическим РР (см. табл. 6.55). При этом с увеличением наполненности огнеупорной суспензии ПМ её газопроницаемость понижается, о чём свидетельствуют данные, приведенные в табл. 6.56.

Таблица 6.55
Газопроницаемость КО при 900°С

Исходный ЭТС	РР	М	Газопроницаемость*, ед	Примечание
ЭТС-40	Ацетон	0,70	0,057 / 0,044	
ЭТС-40	Ацетон	1,25	- / 0,040	
ЭТС-32	Вода	3,8	- / 0,080	Используется HCl и H ₂ SO ₄
ЭТС-40	Вода	18/7	0,092 / 0,097	Используется HCl
ЭТС-40	Вода	17,7/6,7	0,089 / 0,105	Связующее ЗИЛ-Эф
ЭТС-50	Вода	26,7/10,8	0,106/0,082	Эмульсионное связующее, эмульгатор – смесь ОП-4 и ОП-10

Примечание. * – в числителе указана величина газопроницаемости КО, изготовленной с 7% SiO₂ в связующем, в знаменателе – 14% SiO₂. Наполнение суспензии – Н = 2,5 кг/л.

Таблица 6.56
Газопроницаемость КО при 900°С

Параметры суспензии	Содержание SiO ₂ в связующем, % (по массе)					
	4		12		16	
Наполнение суспензии ПМ, кг/л	2,4	2,8	2	2,4	2	2,4
Газопроницаемость при 900°С, ед	0,09	0,074	0,075	0,07	0,074	0,06

Газопроницаемость прокалённых КО, изготовленных на основе ГРЭС, по данным разных исследователей, находится в пределах от 0,02 до 0,5 ед и, по данным [320], уменьшается с увеличением содержания воды в связующем. В то же время, результаты исследований, представленные в работе [320], свидетельствуют об обратном. Причиной данного расхождения является различие используемых методов исследования и технологий изготовления испытуемых образцов КО.

Для предупреждения образования обезуглероженного слоя в стальных и чугунных отливках авторы работы [316] рекомендуют КО прокаливать в восстановительной газовой среде, для создания которой можно использовать, например, остатки модельного состава в КО. В процессе прокаливания КО, в результате возгонки остатков модельного состава, происходит осаждение определённого количества окислительного углерода в её порах, который, собственно, и препятствует образованию обезуглероженного слоя в стальных и чугунных отливках. При этом авторы отмечают, что прокаливание КО в восстановительной или окислительной газовой среде позволяет получать КО практически с одинаковой газопроницаемостью.

Для значительного повышения газопроницаемости КО в суспензию и зернистый огнеупорный материал вводят выгорающие при прокаливании КО добавки.

В основном, величину газопроницаемости КО, ГО или гипсовых форм на предприятиях определяют при комнатной температуре на образцах, имеющих диаметр 50 мм и толщину 3...5 мм. При этом образцы испытывают как в непрокалённом, но высушенном при 150...250°С состоянии, так и предварительно прокалённом (обожжённым) состоянии.

Как правило, испытания образцов пластинчатой формы проводят на приборе мод. 042, укомплектованном патроном Фишера. Расчёт величины газопроницаемости испытуемых образцов проводят по уравнению фильтрации Дарси.

Поскольку процесс прокаливания КО сопровождается существенными изменениями её структуры и состава (спеканием связующего, образованием новых капиллярных каналов, испарением жидких компонентов, разрушением модельного состава и т.п.), а также изменением вязкости воздуха (газов) при повышении температуры, то газопроницаемость КО необходимо определять при той температуре, при которой она поступает под заливку металлом, а режим нагрева испытуемого образца должен соответствовать режиму прокаливания реальной КО.

Рис. 6.69. Схема установки для определения газопроницаемости КО при высокой температуре (метод ЗИЛа): 1 – испытуемый образец КО; 2 – муфельная печь; 3 – шланг резиновый, с краном; 4 – коллектор; 5 – гильза; 6 – бак с колоколом; 7 – манометр; 8 – термопара; 9 – кварцевая трубка

С этой целью авторы работы [119] провели определение газопроницаемости КО, используя муфельную печь и прибор мод. 042, объединив их в схему, представленную на рис. 6.69.

Как было отмечено выше, газопроницаемость испытуемого образца при 20°С рассчитывают по уравнению фильтрации Дарси:

$$K_{20} = \frac{U_{20} \cdot h}{F \cdot \tau \cdot p} \quad (6.29)$$

где U₂₀ – объём воздуха, прошедшего через образец КО при 20°С, см³; h – толщина образца КО, см; F – площадь поверхности образца, через которую происходит