

## МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.74

Ю.И. Трифонов, В.А. Героцкий, Т.Д. Курилина

### СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ ЖИДКОПОДВИЖНЫМ ОПОРНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева

В производственных условиях апробирован способ повышения прочности, газопроницаемости и геометрической точности оболочковых форм, получаемых по выплавляемым моделям.

Для этого форма вместе с опорным наполнителем помещается в электровакуумную печь для вытопки модельной массы и прокалики формы. Использование низкого вакуума позволяет снизить температуру прокалики формы. Применение жидкоподвижного опорного наполнителя и низкого вакуума при вытопке модельной массы и прокалики формы оказывает положительное влияние на качество формы.

*Ключевые слова:* оболочковая форма, жидкоподвижный опорный наполнитель, вакуум, температура прокалики, прочность и газопроницаемость опорных наполнителей, качество формы.

Современные модельные составы в литейном производстве изготавливают из комбинаций восков (парафино-стеариновая смесь, природные твердые воски) с добавлением пластмасс (полиэтилен, поливинилбутилацетат, бутадиенстирол, этилцеллюлоза) [1]. При литье по выплавляемым моделям крупных тонкостенных отливок с повышенной геометрической точностью, традиционные парафино-стеариновые модельные составы не удовлетворяют необходимым требованиям.

Модели из таких составов недостаточно прочны, размягчаются при  $30\div 35^{\circ}\text{C}$ , что в процессе технологических операций приводит к искажению форм и нарушению точности геометрических размеров отливок.

Необходимым свойством обладают традиционные парафино-стеариновые модельные составы со специальными наполнителями, повышающими прочность и термостойкость моделей. При этом желательно, получать стабильные свойства моделей при изготовлении их (моделей) на прессе с усилием 10-15 т.

Прочность таких модельных составов в 4÷5 раз выше, чем традиционных.

Однако прочные модельные составы требуют и более высоких температур, (по сравнению с парафино-стеариновыми) при удалении моделей из оболочек.

Удаление из форм модельного состава производится различными способами, отличающимися техническим исполнением и долей безвозвратных потерь модельных композиций. Наиболее известны [1] способы, указанные в табл. 1.

Удаление моделей низкотемпературным нагревом при очевидных достоинствах имеет ряд существенных недостатков. Наименее рекомендуемым можно считать выплавление горячим воздухом, при котором из-за медленного прогрева модели и быстрого нагревания оболочки в последней происходит образование трещин [2]. Проникающий в оболочку модельный состав впоследствии необходимо выжигать при прокаливании.

Использование жесткой воды при вытапливании модельного состава в горячей ванне способствует его омылению, образованию нерастворимых в воде продуктов, которые накапливаются в модельных составах и служат источником засоров в отливках.

Таблица 1

## Способы выплавления модельного состава

Способ	Оборудование	Температурный режим, °С	Потери, %	Примечание
Высокотемпературный нагрев	Термические печи	900-1100	10-15	Снимается необходимость прокалики
Низкотемпературный нагрев	Ванны с кипятком	90-100	2-5	
Нагрев при высоком давлении	Автоклавы	135-165 при давлении 3-6 атм.	2-5	

Наиболее успешным способом выплавления моделей является применение в качестве среды расплава применяемого модельного состава. Имеется мнение [2], что прочность прокаленных оболочек возрастает за счет скоксовавшихся остатков модельного состава. Это же явление способствует улучшению условий заливки, затвердевания и охлаждения отливки и предупреждению образования в них обезуглероженного слоя.

Способ изготовления многослойной оболочковой формы по выплавляемым моделям [3], включающий образование многослойной формы из керамической суспензии на этилсиликатном связующем, предусматривает выплавление модели при воздействии по оболочку горячим воздухом и прокалику оболочки, отличающиеся тем, что, с целью улучшения качества форм за счет устранения трещин при выплавлении модели в горячем воздухе, горячий воздух подают со скоростью 10 - 20 м/с и одновременно с ним на модель воздействуют сухим насыщенным водяным паром в течение 2 - 20 мин, который после выплавления модели удаляют.

Перспективным считается использование СВЧ нагрева для удаления моделей [4].

Для удаления высокопрочных модельных составов применяют высокотемпературный нагрев. В результате под воздействием более высоких температур возникают и более высокие напряжения в оболочке, что приводит, как правило, или к частичному разрушению ее или короблению, и, в конечном итоге, к нарушению геометрической точности полости литейной формы, а, следовательно, отливки.

Чтобы исключить такие явления, необходимо упрочнение оболочки с помощью внешней опоры осуществлять до удаления из нее модели, а не после, как это практикуется при традиционном способе литья по выплавляемым моделям.

Возможность коробления и растрескивания оболочки при вытопке модельной массы и последующей прокалики требует ее упрочнения перед проведением указанных операций и упаковкой в опорную смесь. Простейшая опорная смесь – сухой песок. Однако хотя песок уменьшает термические напряжения в оболочке при прокалке, невозможно при действующей технологии использовать засыпку оболочек песком перед вытопкой моделей. Соответственно прорабатывались разные варианты опорных смесей применительно к цеховым условиям.

Известен способ с применением влажного наполнителя, состоящего из 88-90% кварцевого песка и 10-12% глиноземного цемента марки 400-500. После перемешивания 4-5 мин в сухом состоянии в смесь добавляют 30-35% воды. После перемешивания образующуюся суспензию (раствор) заливают в контейнер, в котором предварительно установлена модель с нанесенной на ее оболочкой (причем допускается, чтобы количество слоев уменьшилось с 4-5 до 2-3). Через 5-10 мин суспензия (раствор) твердеет. Для более плотного обтекания суспензией модели, целесообразно заливку осуществлять на вибрационном столе. Недостатком такой технологии является низкая газопроницаемость полученной формы, что нежелательно при изготовлении тонкостенных отливок с развитой поверхностью. Для полного от-

верждения суспензии и частичного удаления влаги форма выдерживается на воздухе 16-20 ч и затем помещается в печь для вытопки модели с последующей прокалкой в течение 12-16 ч.

Новая технология заключается в использовании в качестве влажного наполнителя для заливки оболочек жидкоподвижных композиций. Высокая текучесть таких композиций позволяет отказаться от уплотнения на вибростоле. Но главное заключается в том, что газопроницаемость формы после отверждения и выдержки достигает 400 и более единиц. Соответственно улучшаются условия прокалки и заливки форм.

Рекомендуемые составы жидкоподвижных композиций приведены в табл. 2. Так как все они на практике дают близкие результаты, в зависимости от наличия материалов можно использовать любую из композиций.

Таблица 2

## Состав смесей для заливки оболочковых форм

Смесь	Формовочный песок	Связка	Пенообразователь	Отвердитель	Добавки
Фосфатная	IK02 IK0315 100%	Алюмо-фосфатная, 7-8%	ДС-РАС 0,15÷0,20%	-	Вода до 5-6% Цемент 0-3%
Жидко-стекольная	-	Жидкое стекло 6-7%	ДС-РАС 0,15-0,20%	Ферро-хромой шлак 0-4%	Вода до 5-6%
Цементная	-	Цемент марки 400-500 7-8%	Концентрат бражки и жидкий (КБЖ) 9÷11%	-	Хлористое железо 0,2÷3,3%

Для приготовления композиций удобно использовать доступные установки для приготовления строительных растворов и бетонов емкостью 25-30 литров. Подготовленная оболочка помещается в опоку и заливается свежеприготовленной жидкоподвижной композицией.

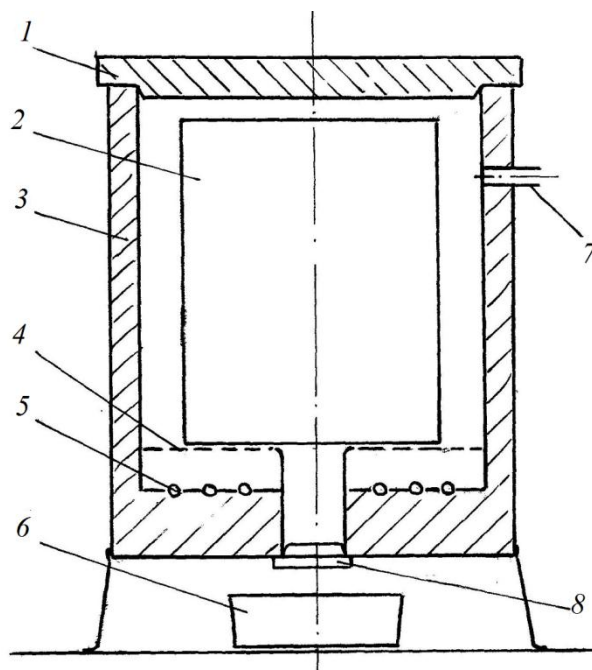
Для приобретения прочности  $0,5\div 0,7$  МПа ( $5-7$  кгс/см<sup>2</sup>) и газопроницаемости порядка 400 единиц, форма выдерживается на воздухе 24 ч. Затем осуществляется прокалка форм с одновременным выплавлением моделей.

Прокалка форм – важная принципиальная операция, определяющая в значительной степени качество и себестоимость отливок. В данной технологии обычная температура прокалики оболочек до 950° трудно осуществима, так как в процессе участвуют опоки, которые при такой температуре будут чрезмерно окисляться и коробиться.

Кроме того, смеси на жидком стекле, при их использовании в формах, при температуре 700-750 °С теряют прочность, что проявится при следующей операции заливки форм.

Обычно режимы прокаливания выбирают с учетом разновидности форм и свойств входящих в их состав материалов [4]. Однако минимальная температура нагрева для удаления органических остатков модельного состава и этилсиликатного связующего во всех случаях составляет 850-950 °С. Исключением является прокалка в вакууме и в высокотемпературном псевдооживленном слое огнеупорного материала, когда процессы возгонки, деструкции или окисления удаляемых веществ протекают более интенсивно. При этом возможно некоторое понижение температуры прокалки. Например, при литье деталей из алюминиевых сплавов в кварцевые формы применение прокаливания в вакууме или псевдооживленном слое горячего песка ограничивается нагревом оболочек до 500-550 °С. Таким образом, не достигается температура полиморфного превращения песка и исключается опасность растрескивания оболочек.

Снизить температуру прокалики форм можно за счет использования низкого вакуума до 1-10 мм рт. ст. На рис. 1 показана схема электровakuумной печи для прокалики форм. Форма 2 помещается на решетку печи 4 и осуществляется нагрев до 500-550°C. Плавящая модельная масса стекает в приемник 6. После 1-3-часовой выдержки гермитизируется крышка 1 и отверстие внизу печи закрывается пробкой 8. Включается через ниппель 7 вакуум и осуществляется часовая выдержка под вакуумом. Такая выдержка равноценна прокалике при 900-950°C.



**Рис. 1 Электровakuумная печь для прокалики форм:**

1 – крышка; 2 – литейная форма;  
3 – корпус печи; 4 – решетка; 5 – нагреватель;  
6 – приемная чаша для модельного состава; 7 – ниппель вакуумпровода; 8 – пробка

Таким образом, с помощью заливки оболочковых форм, полученных по выплавляемым моделям, жидкоподвижными смесями возможна эффективная организация получения тонкостенных прецизионных отливок из алюминиевых сплавов при умеренных затратах [5].

В качестве варианта основы опорных смесей были выбраны применяющиеся в цехе гипсовые смеси, включающие 60% гипса, 32% песка, 2% асбеста и 6% слюды. Для повышения технологичности в цеховую смесь вводили различные добавки.

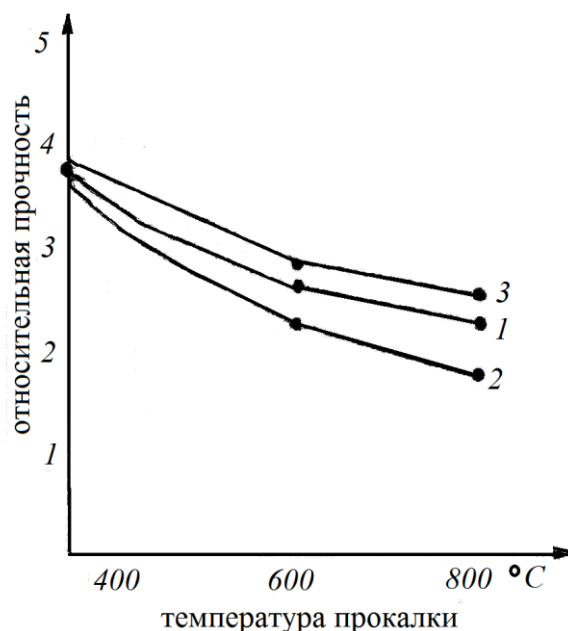
С целью увеличения жидкоподвижности в жидкую гипсовую смесь вводили 0,2-0,3% ПАВ ОП-7. Эта добавка несколько уменьшала количество воды в смеси, но все же влажность смеси оставалась высокой и составляла 40-45%. Образцы прокаливали при 500, 600, 700 и 800°C с выдержкой 1 ч. Прочность при 500 °C оставалась практически как у исходного образца, затем по мере роста температуры прокалики падала и оказалась для 800 °C низкой.

Проверяли влияние различных добавок на прочность опорных смесей с гипсовым наполнителем при различных температурах прокалики (рис. 2).

Добавка этилсиликата прореагировала с ОП -7 в смеси и устранила пенообразование. В результате пришлось увеличить количество воды в смеси из-за уменьшения ее жидкотекучести. Влияние добавок на прочность смеси представлено на рис. 2.

Как видно на рис. 2, наибольшей прочностью обладает смесь с добавкой этилсиликата. Исходная смесь, обладая повышенной прочностью при низкой температуры прокалики, с повышением температуры теряет ее. Прочность смеси с добавкой жидкого стек-

ла достаточно велика в исходном состоянии, при прокатке она падает и с ростом температуры меняется мало.



**Рис. 2. Влияние температуры прокатки на прочность опорных смесей:**

1 – исходная смесь: 45% гипсовой смеси, 54% воды, 1% ОП-7;

2 – добавка 4% жидкого стекла;

3 – добавка 4% негидролизованного этилсиликата

С целью предотвращения разупрочнения смеси с добавкой жидкого стекла при прокатке в состав смеси ввели 1% борной кислоты. В результате, как показали эксперименты, при прокатке прочность смеси практически не изменялась и осталась на уровне исходной.

Недостаток гипсовых смесей – значительное содержание воды (до 60%). С целью уменьшения содержания воды и колебания размеров при отверждении и прокатке смеси использовали следующий состав: 1 часть гипсовой смеси, 2 части песка, 0,5 части цемента и добавка 0,5% ОП-7 в жидкую композицию. Данный состав показал значительную прочность после отверждения. После прокатки при 700-750°C прочность падала, но оставаясь достаточной для технологических целей.

Анализ показывает, что идеальной опорной смесью может служить пористая масса или затвердевшая пена. Такая пена может быть получена в результате выделения газа в процессе отверждения смеси, например, по реакции алюминиевого порошка с ортофосфорной кислотой.

По данной реакции одновременно выделяется водород и трехзамещенный алюмофосфат, который служит алюмофосфатной связкой в смеси. В экспериментах использовали цеховую суспензию на гидролизованном этилсиликате с добавками до 10-25% алюминиевого порошка и 5-10% ортофосфорной кислоты. После смешивания начиналась реакция с выделением водорода, масса вспенилась и через сутки затвердела в виде достаточно прочной твердой «губки» с размером ячеек 1-5 мм.

### Выводы

Использование в процессе изготовления оболочковой формы в качестве опорного наполнителя жидкоподвижной смеси способствует повышению физико-механических свойств и качества формы.

В качестве технологии выплавления модельного состава и последующей прокатки

может использоваться электровакуумный нагрев, обеспечивающий снижение температуры прокали и, следовательно, являющийся более энергоэффективным, чем традиционные режимы подготовки оболочковой формы к заливке. Уменьшение температуры также повышает прочность, геометрическую точность и газопроницаемость формы.

#### Библиографический список

1. **Вагин Г.Я.** Ресурс- и энергосбережение в литейном производстве: учебник для вузов / Г.Я. Вагин, В.А. Коровин, И.О. Леушин, А.Б. Лоскутов; Нижегород. гос. тех. ун-т. – Н. Новгород, 2008. – 211 с.
2. Литье по выплавляемым моделям / под ред. Л.И. Шкеленника и В.А.Озерова. – М.: Машиностроение, 1984. – 404 с.
3. А.с. SU 1141643 А1 Способ изготовления многослойной оболочковой формы по выплавляемым моделям.
4. Специальные способы литья: справочник / В.А. Ефимов [и др.]; под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 436 с.
5. **Трифонов, И.Ю.** Опыт получения тонкостенных корпусных отливок из алюминиевых сплавов по выплавляемым моделям // Литейное производство сегодня и завтра: тр. 8-й научно-практической конференции. – СПб., 2010.

*Дата поступления  
в редакцию 21.11.2013*

**Y.I. Triaonov, V.A. Gerotsky, T.D. Kurilina**

#### **METHOD OF HARDENING OF THE SHELL MOLD BY THE FLUID BEARING FILLER**

**Purpose:** When investment casting of large thin-walled castings with high geometric precision, traditional paraffin-stearic model formulations do not meet the necessary requirements. Purpose - to find a way of hardening shell molds.

**Design/methodology/approach:** Under production conditions was tested way to increase strength, permeability and geometric precision for shell molds by investment casting.

**Findings:** For this form, together with supporting liquid filler is placed in electrical vacuum furnace for melting out the model and calcination forms.

**Research limit ations/implications:** The low vacuum uses to reduce the temperature of baking forms.

**Originality/value:** Application liquid filler and low vacuum melting out the model and calcination mold has a positive impact on the quality of the form.

*Key words:* shell of mold, liquid filler, vacuum baking temperature, strength, permeability.