

## РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

*Л.Г. Знаменский, А.С. Варламов, С.С. Верцюх*

Разработаны ресурсосберегающие процессы формообразования для литья по выплавляемым моделям. Они являются альтернативой этилсиликату и силикатным системам формообразования. Это позволяет улучшить комплекс физико-механических свойств керамических форм в литье по выплавляемым моделям. В результате улучшается качество и повышается экономическая эффективность изготовления точных отливок из жаропрочных никелевых сплавов.

*Ключевые слова:* ресурсосбережение, литье по выплавляемым моделям, керамическая форма, этилсиликатное связующее, алюмоборфосфатный концентрат.

Литейное производство оказывает большое влияние на качественные показатели и надежность современных машин и оборудования. Развитие техники предъявляет свои требования к качеству литых заготовок. Современные отливки должны иметь высокие и регламентированные механические свойства, физические и химические характеристики, а также высокую точность при минимальной толщине стенок и массе.

В настоящее время для этого используется способ литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) в оболочковые керамические формы на этилсиликатном связующем (ЭТС). Данная технология обеспечивает получение точных отливок достаточно высокого качества из сплавов цветных и черных металлов. Существенным недостатком указанного технологического процесса является необходимость проведения длительной операции гидролиза в присутствии органических растворителей. Кроме того, твердение ЭТС-суспензии на воздухе проходит крайне медленно, а известное ускорение этого процесса в присутствии аммиака ухудшает экологическую обстановку в литейных цехах. Наряду с повышенной вредностью и длительностью, базовая технология характеризуется и дороговизной применяемых материалов. Помимо ЭТС нашли определенное применение в ЛВМ растворы жидкого стекла и кремнезоль. Однако первые не обеспечивают керамическим формам требуемые термостойкость и точность, а для вторых связующих остаются актуальными проблемы нестабильности свойств получаемых форм и длительности воздушной сушки слоев суспензии на выплавляемой модели. При этом следует отметить негативное влияние  $\text{SiO}_2$ , входящего в состав указанных связующих материалов, на качество поверхности отливок из химически активных сплавов [1].

Альтернативой этилсиликату с точки зрения обеспечения ресурсосберегающего характера литейной технологии, повышения качества отливок, в том числе из химически активных сплавов, и улучшения экологической обстановки является алюмоборфосфатный концентрат (АБФК).

Однако до настоящего времени применение АБФК в процессах формообразования для ЛВМ, в особенности для изготовления отливок ответственного назначения из жаропрочных никелевых сплавов, до сих пор представляется малоизученным, но, безусловно, перспективным направлением.

Таким образом, разработка ресурсосберегающей технологии ЛВМ в многослойные керамические формы на неорганических недорогих и безопасных материалах является весьма актуальной задачей литейного производства.

Для реализации поставленной задачи использовали связующее на основе водного раствора АБФК (ТУ 113-08-606-87), микропорошки электрокорунда белого марки 25А фракций F800, F320 (ТУ 3988-075-00224450-99) и зернистый обсыпочный материал – периклаз (ТУ 14-8-448-83).

В результате исследований был получен ряд зависимостей, на основании которых определены параметры подготовки суспензии и обсыпки: плотность АБФК – 1300...1400 кг/м<sup>3</sup>; количество связующего – 30...35 мас. %; дисперсность периклаза – 0,3...0,4 мм. Указанные параметры обеспечивают ускоренный цикл формообразования в ЛВМ. Так продолжительность отверждения каждого слоя огнеупорного покрытия в этом случае составляет 40...60 мин [2]. Ускорение формообразования достигается за счет взаимодействия АБФК-связующего суспензии с MgO обсыпки, в результате которого формируется манипуляторная прочность слоя, позволяющая наносить следующие слои без разрушения предыдущих.

При проведении экспериментов было зафиксировано увеличение прочности керамических образцов при повышенных температурах и снижение ее до значений, на 20...30 % ниже начальных после охлаждения. В связи с этим представлялось целесообразным определить влияние температурных условий на прочность керамических корундовых образцов на АБФК с периклазовой обсыпкой. Кинетические зависимости их прочности при нагреве и охлаждении представлены на рис. 1.

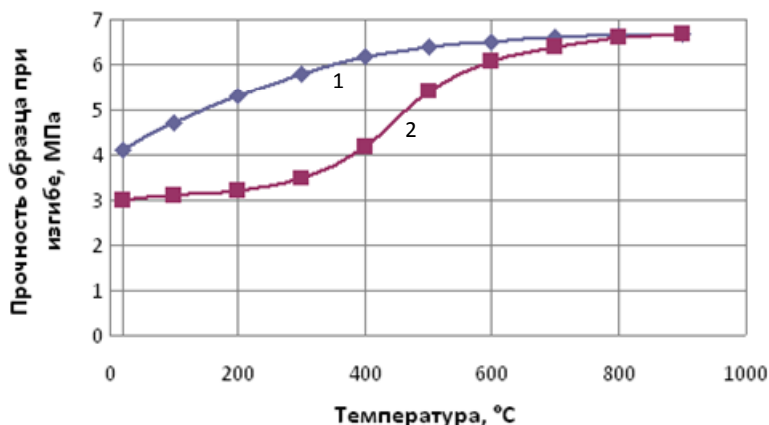


Рис. 1. Кинетические зависимости изменения прочности керамических оболочковых форм при нагреве и охлаждении: 1 – нагрев; 2 – охлаждение

Для изучения сложных процессов, протекающих при нагреве и охлаждении керамических форм на АБФК с периклазовой обсыпкой, и выявления соответствующих механизмов формообразования использовали результаты дилатометрии и

дериwатографии (рис. 2), полученные на дилатометре и дериwатографе системы «PAULIK» (Венгрия), а также данные качественного рентгенофазового анализа (рис. 3), проведенного на дифрактометре ДРОН-4-07, снабженном аппаратно-програм-

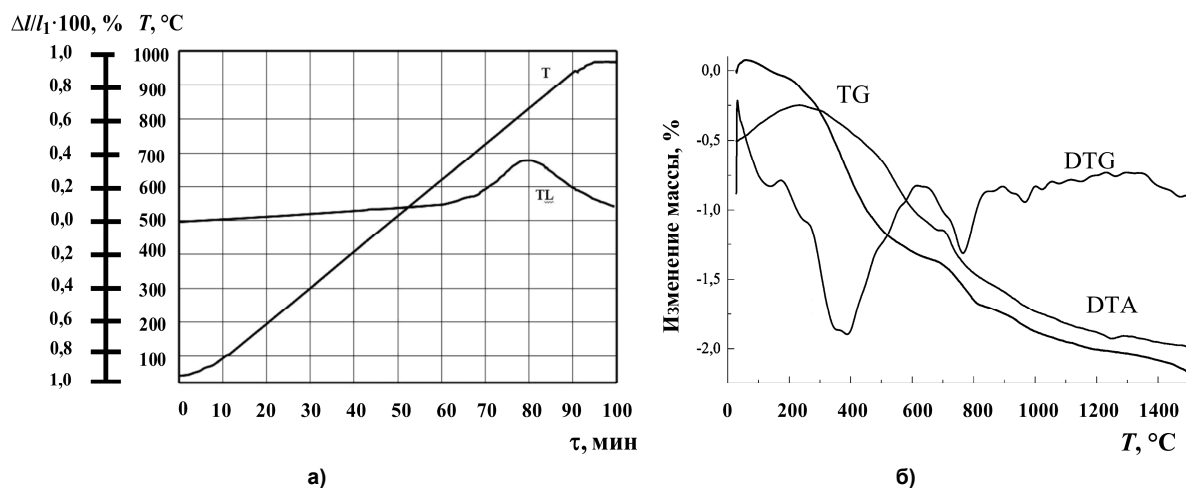


Рис. 2. Дилатометрические зависимости (а) и дериwатограмма (б) корундовых образцов на АБФК с периклазовой обсыпкой

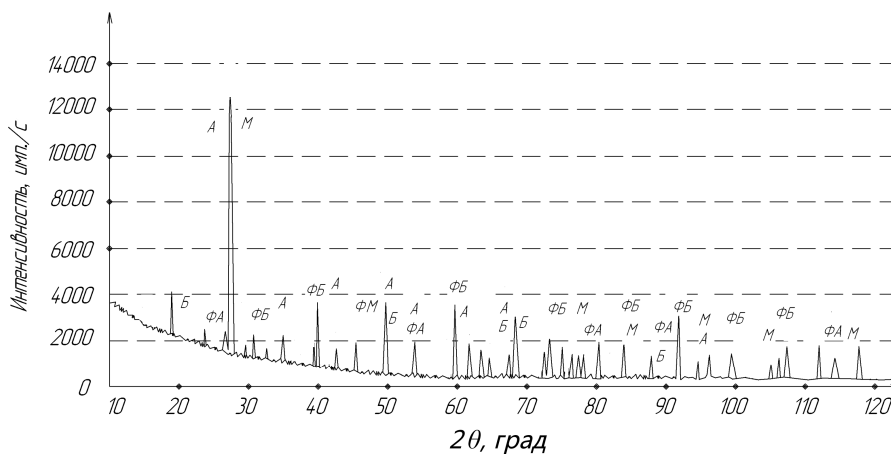


Рис. 3. Дифрактограмма корундового образца на АБФК с периклазовой обсыпкой после прокалки (950 °C, 3 ч): А –  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , ФА –  $\text{AlPO}_4$ , М –  $\text{MgO}$ , ФМ –  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ , Б –  $\text{V}_2\text{O}_5$ , ФБ –  $\text{VPO}_4$

мым комплексом для автоматического управления дифрактометром и регистрации результатов измерений.

Анализ приведенных dilatометрических зависимостей показывает, что коэффициент термического линейного расширения (КТЛР) корундовых образцов на АБФК с периклазовой обсыпкой в температурных интервалах 20...620 °С и 20...830 °С составляет  $1,61 \cdot 10^{-6}$  и  $3,97 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  соответственно, что обуславливает высокую геометрическую точность получаемых форм и отливок.

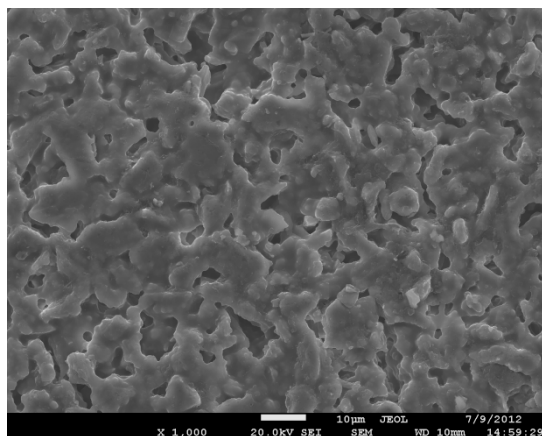


Рис. 4. Микроструктура образца керамической формы на АБФК и микропорошках электрокорунда белого с периклазовой обсыпкой (×1000)

Установлено, что при обсыпке зернистый периклаз внедряется в слой корундовой суспензии на растворе АБФК и начинает взаимодействовать со связующим, в результате чего выделяются из указанного раствора и «срастаются»

фосфатные кристаллогидраты различных форм (рис. 4). Огнеупорный слой отверждается и приобретает определенную прочность. При нагреве и прокатке образцов (950 °С, 3 ч) аморфный оксид бора обуславливает спекание и повышение, за счет этого, «горячей» прочности керамических оболочковых форм. Снижение прочности оболочек после формирования отливок при последующем охлаждении обусловлено, главным образом, распадом фосфата бора при температуре 500 °С и ниже на оксид бора и фосфорный ангидрид. Высокие прочностные характеристики форм на стадии заливки расплава в совокупности с их разупрочнением на стадии охлаждения и выбивки обеспечивают получение отливок высокого качества, а также минимальную трудоемкость финишных операций.

Из суспензии на АБФК параллельно с базовыми (на ГРЭС и водном кремнезольном связующем «Сиалит-20С») были изготовлены образцы для контроля физико-механических свойств. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Результаты проведенных исследований [3] убедительно показывают, что появляется возможность заменить процесс формообразования с применением дорогостоящего и экологически опасного этилсиликата на неорганическое связующее (АБФК) и обеспечить ресурсосбережение и улучшение условий труда в цехах ЛВМ. Об этом, в частности, свидетельствует калькуляция затрат на изготовление керамических форм (в расчете на 1 кг) и одной тонны точных отливок из жаропрочного никелевого сплава ВЖЛ12У-ВИ (табл. 2 и 3).

За счет снижения брака, сокращения продолжительности изготовления форм, использования

Таблица 1

Результаты испытаний керамических оболочковых корундовых форм

Показатели	Формы на ГРЭС (базовая)	Формы на «Сиалит-20С» (базовая)	Формы на АБФК
1. Время затвердевания слоя, мин	90...120	60...90	40...60
2. Газопроницаемость, ед.	1...2	2...3	5...7
3. Прочность при изгибе, МПа: – после вытопки моделей в перегретой модельной массе («сырая» прочность) – при температуре 950 °С («горячая» прочность)	4,2...4,5 5,3...6,0	3,5...3,8 4,7...5,0	4,3...4,8 6,0...7,0
3. Выбиваемость (остаточная прочность), МПа	2,4...2,9	1,5...1,8	1,2...1,5

Таблица 2

Затраты на изготовление керамических форм (в расчете на 1 кг)

Компоненты суспензии	Затраты на 1 кг формы, руб.	
	Базовая технология	Разработанная технология
Раствор АБФК	–	18,04
Электрокорунд	41,86	41,86
Периклаз	–	4,5
Гидролизированный раствор ЭТС	28,45	–
Шлифзерно электрокорунда белого	22,5	–
Итого	92,81	64,4

Таблица 3

Калькуляция затрат на изготовление 1 т точных отливок из жаропрочного никелевого сплава

Статьи расходов	Затраты на 1 т, тыс. руб.	
	Базовая технология	Разработанная технология
Основные материалы	3645,83	3259,17
Вспомогательные материалы	18,4	4,6
Топливо и энергия на технологические нужды	36,9	17,44
Основная заработная плата	276,5	189,64
Дополнительная заработная плата	218,34	147,96
Отчисления на ЕСН	168,24	114,78
Потери от брака	2005,21	977,75
Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования	201,4	154,45
Общехозяйственные расходы	38,46	31,64
Специнструмент	16,54	14,32
Общезаводские и внепроизводственные расходы	54,41	53,7
Итого	6680,23	4965,45

недорогих формовочных материалов достигнута на ОАО СКБ «Турбина» (г. Челябинск) суммарная экономия затрат в размере 1,7 млн руб. на 1 т годных отливок из жаропрочного никелевого сплава.

#### Литература

1. Знаменский, Л.Г. Бескремнеземное связующее в точном литье химически активных сплавов / Л.Г. Знаменский, А.С. Варламов, С.С. Верцюх // *Литейное производство*. – 2013. – № 8 – С. 15–17.

2. Пат. 2478453 Российская Федерация, МПК В 22 С 1/00. Способ изготовления форм по выплавляемым моделям (варианты) / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, С.С. Верцюх. – № 2011146577/02; заявл. 16.11.2011; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10. – 4 с.

3. Пат. 2499650 Российская Федерация, МПК В 22 С 1/00. Способ приготовления бескремнеземного связующего для литья по выплавляемым моделям химически активных сплавов / Л.Г. Знаменский, С.С. Верцюх, А.С. Варламов. – № 2012143558/02; заявл. 11.10.2012; опубл. 27.11.2013, Бюл. № 33. – 5 с.

**Знаменский Леонид Геннадьевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры металлургии и литейного производства, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); kul@lit.susu.ac.ru.

**Варламов Алексей Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии и литейного производства, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); doc.varlamov@mail.ru.

**Верцюх Сергей Сергеевич**, инженер-технолог, ОАО СКБ «Турбина» (г. Челябинск); server1988@mail.ru.

*Поступила в редакцию 15 января 2014 г.*

## RESOURCE SAVING MOULDING PROCESSES FOR INVESTMENT CASTING

**L.G. Znamenskii**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
*kul@lit.susu.ac.ru*,

**A.S. Varlamov**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
*doc.varlamov@mail.ru*,

**S.S. Vertyukh**, JSC Special Design Bureau "Turbina", Chelyabinsk, Russian Federation,  
*server1988@mail.ru*

Resource saving moulding processes for investment casting have been developed. The processes are an alternative to ethyl silicate and silicate system moulding. They enable to improve physical and mechanical properties of ceramic moulds in investment casting. As a result, the quality and economic efficiency of manufacturing precision castings of heat resisting nickel alloys are improved.

*Keywords: resource saving, investment casting, ceramic mould, ethyl-silicate binder, alumina-boron-phosphate concentrate.*

### References

1. Znamenskii L.G., Varlamov A.S., Vertyukh S.S. [A Silica-Free Binder in Precision Casting of Chemically Active Alloys]. *Liteynoe proizvodstvo* [Foundry], 2013, no. 8, pp. 15–17. (in Russ.)
2. Znamenskii L.G. et al. *Sposob izgotovleniya form po vyplavlyаемым modelyam (varianty)* [The Way to Produce Investment Casting Moulds (Variants)]. Patent RF, no. 2478453, 2013.
3. Znamenskii L.G. et al. *Sposob prigotovleniya beskremnezemnogo svyazuyushchego dlya lit'ya po vyplavlyаемым modelyam khimicheskii aktivnykh splavov* [The Way to Prepare a Silica-Free Binder for Investment Casting of Chemically Active Alloys]. Patent RF, no. 2499650, 2013.

*Received 15 January 2014*