

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ЛИТЬЯ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, А.С. Варламов, А.А. Южакова

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

При производстве отливок из сплавов химически активных металлов широко используют керамические корундовые формы на гидролизованном растворе этилсиликата, которые обладают недостаточной инертностью к заливаемым сплавам. Это связано с наличием в форме высокого содержания свободного кремнезема, являющегося в условиях вакуума сильным окислителем таких компонентов сплава как алюминий и титан. Для решения указанной проблемы предложено использование в качестве бескремнеземного связующего керамических корундовых форм алюмоборфосфатного концентрата, химически отверждаемого периклазом. Использование комбинации указанных формовочных материалов позволяет не только обеспечить химическую инертность форм, но и управлять самим процессом формообразования. Разработанная технология обеспечивает ускорение цикла изготовления форм в 4...6 раз, повышение прочности формоболочек, снижение себестоимости литья из жаропрочных сплавов. Это создает условия для значительного улучшения качества и повышение экономической эффективности изготовления точных отливок из химически активных металлов и сплавов.

*Ключевые слова:* литье по выплавляемым моделям; керамическая форма; алюмоборфосфатный концентрат; корунд; периклаз; жаропрочный никелевый сплав.

### Введение

В стратегических областях промышленности, таких как аэрокосмический комплекс, машиностроение и приборостроение, широко используются детали из тугоплавких жаропрочных сплавов, в состав которых входят химически активные металлы. При этом прогрессивным способом, обеспечивающим высокую точность заготовок, является литье по выплавляемым моделям (ЛВМ). Одна из основных проблем ЛВМ химически активных металлов заключается в необходимости повышения инертности керамических форм по отношению к заливаемому сплаву в условиях вакуума.

### Актуальность проблемы и постановка задачи

Для литья жаропрочных никелевых сплавов применяют процессы ресурсозатратного формообразования на этилсиликатном связующем и электрокорунде. Указанный наполнитель является термохимически устойчивым к жаропрочным никелевым сплавам в условиях вакуума.

Недостаточная инертность оболочек определяется взаимодействием расплава с кремнеземом формы, источником которого является этилсиликатное связующее после прокалики керамики. SiO<sub>2</sub> окисляет алюминий и титан, входящие в состав жаропрочных сплавов, с

образованием плен из оксидов Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и TiO<sub>2</sub>. При этом выделяющийся кремний, имеющий высокий уровень растворимости в никеле, насыщает поверхностный слой отливки, а при дальнейшем переплаве распределяется по всему объему ванны металла.

Анализ литья по выплавляемым моделям жаропрочных сплавов в этилсиликатных керамических формах показал также, что базовый процесс формообразования трудоемок и длителен [1]. Поэтому очевидна актуальность разработки ресурсосберегающей технологии изготовления оболочковых керамических форм на бескремнеземном связующем.

### Экспериментальные исследования

При разработке технологии исследовали состав суспензии, который включал в себя: бескремнеземное связующее на основе водного раствора алюмоборфосфатного концентрата (АБФК) и электрокорундовый наполнитель. Зернистый обсыпочный материал – периклаз, являющийся отвердителем АБФК [2].

Использование комбинации указанных формовочных материалов позволяет не только обеспечить химическую инертность форм, но и управлять самим процессом формообразования.

Основными критериями при оптимизации состава были: продолжительность цикла фор-

## Литейное производство

мообразования – 40...60 мин, прочность форм при изгибе – 4...5 МПа, газопроницаемость форм – 7...10 ед.

В результате определены основные параметры корундовых суспензий на АБФК и обсыпок:

- плотность АБФК – 1300...1400 кг/м<sup>3</sup>;
- количество связующего раствора – 30...35 % мас.;
- удельная поверхность корунда – 2500...3500 см<sup>2</sup>/г;
- дисперсность периклазовой обсыпки – 0,3...0,4 мм.

Применение водного раствора АБФК и периклазовой обсыпки уменьшает продолжительность формообразования

На рис. 1 представлена микроструктура формы на бескремнеземном связующем. Результаты получены на электронном микроскопе JEOL JSM 6460LV.

На рис. 2 представлены результаты дилатометрии смеси, изготовленной по разработанной технологии. Применяли дилатометр PAULIK (Венгрия). Коэффициент термического линейного расширения образцов при температурах 20...620 и 20...830 °С составляет

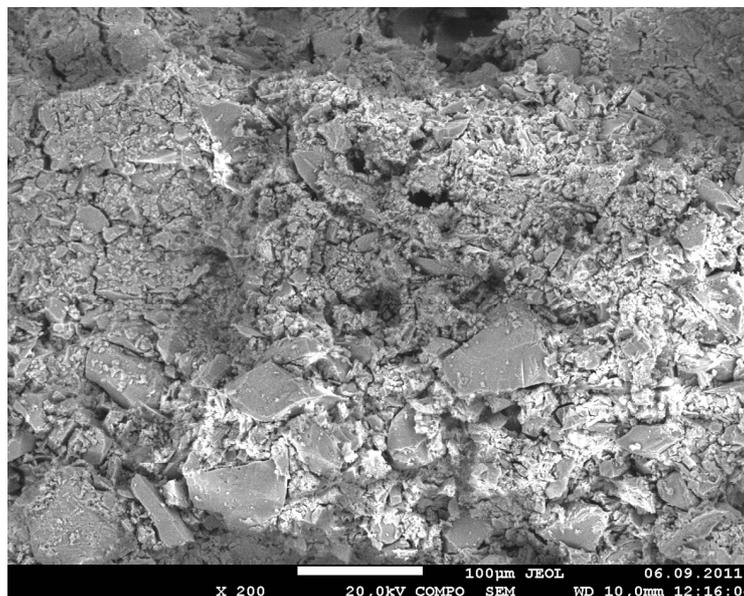


Рис. 1. Структура керамической формы (x200)

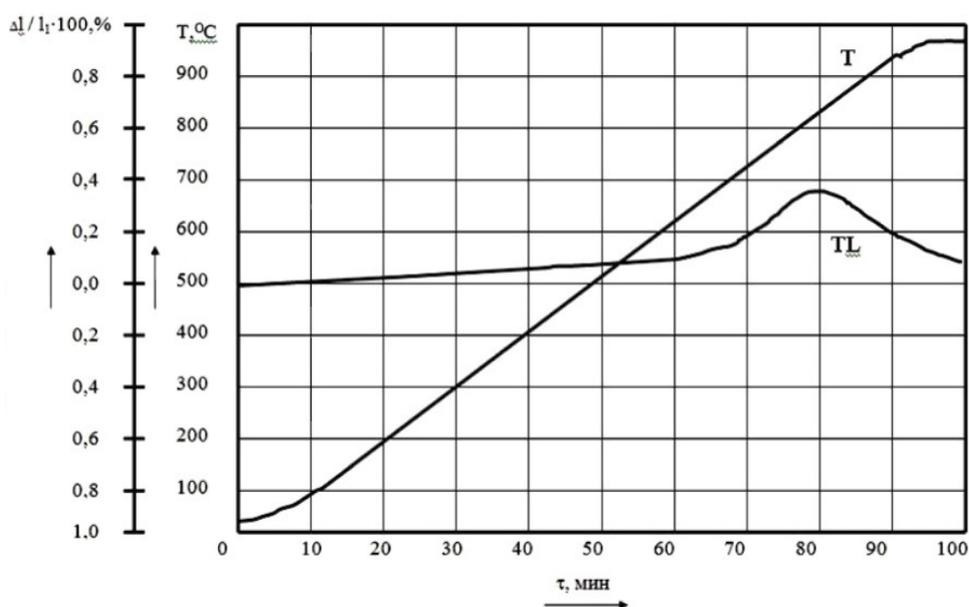


Рис. 2. Дилатометрия разработанной смеси

$1,61 \cdot 10^{-6}$  и  $3,97 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  соответственно. При этом «плавающее» изменение размеров при нагреве до  $600 \text{ } ^\circ\text{C}$  позволяет повысить трещиностойчивость форм, сократить продолжительность прокалики и за счет этого уменьшить энергоемкость процесса ЛВМ.

При проведении экспериментов было установлено, что прочность форм после изготовления соответствует  $4 \dots 5$  МПа, при температуре  $950 \text{ } ^\circ\text{C}$  достигает максимального значения ( $6 \dots 7,5$  МПа), а после полного охлаждения до  $25 \text{ } ^\circ\text{C}$  достигает значений  $2 \dots 3$  МПа и стабилизируется. Такое изменение прочностных характеристик свидетельствует о «разупрочнении» многослойной керамики в процессе охлаждения, что снижает трудоемкость выбивки отливок.

Высокие физико-механические свойства керамических форм на бескремнеземном связующем определяют возможность использования их для получения точных литых заготовок из жаропрочных никелевых сплавов.

### Практическая значимость

Практическая апробация разработанной технологии осуществлялась на отливках «Колесо рабочее» из жаропрочных никелевых сплавов. Установлено, что в этом случае существенно снижается фоновое свечение отливков при их люм-контроле, которое свидетельствует об уменьшении точечных дефектов поверхности заготовок.

В табл. 1 указан химический состав образца из жаропрочного никелевого сплава в поверхностном слое на различной глубине.

Анализ полученных данных показывает химическую инертность относительно жаропрочного никелевого сплава форм, изготовленных по разработанной технологии на АБФК и возможность замены процесса с применением гидролизованного этилсиликата.

В табл. 2 представлены сравнительные показатели разработанной и базовой технологий формообразования. Для базового варианта использовали гидролизованный раствор этилсиликата с условным содержанием  $\text{SiO}_2$  18 % мас.

Керамические формы и отливка «Колесо рабочее» из жаропрочного никелевого сплава представлены соответственно на рис. 3 и 4.

Технология формообразования на бескремнеземном связующем обеспечивает высокий уровень физико-механических свойств керамических форм и является ресурсосберегающей за счет сокращения продолжительности изготовления оболочек, использования недорогих материалов и снижения брака отливок.

Таблица 1

Химический состав поверхностного слоя образца из жаропрочного никелевого сплава

Глубина сканирования, мкм	Содержание элементов, %									
	Ni	Al	Cr	Co	Ti	V	W	S	P	Si
10	62,24	5,50	10,07	14,65	4,36	0,79	1,51	0,0030	0,046	0,020
20	62,83	5,67	9,23	14,61	3,43	0,89	2,45	0,0010	0,051	0,018
30	62,74	5,47	9,94	14,84	3,50	0,85	1,82	0,0013	0,042	0,021

Таблица 2

Свойства керамических форм и отливок

Наименование свойств	Базовая технология	Разработанная технология [3]
1. Газопроницаемость форм, ед.	2...4	5...6
2. Продолжительность изготовления оболочковой формы, ч	24	4...6
3. Прочность форм на изгиб, МПа	2,8...3,0	4,5...5,0
4. Прочность форм на изгиб при $900 \text{ } ^\circ\text{C}$ , МПа	4,0...4,8	6,8...7,5
5. Прочность форм после охлаждения, МПа	3,3...3,5	2,0...2,5
6. Толщина видоизмененного слоя на поверхности отливок, мкм	50...80	0...10



Рис. 3. Керамические формы для отливки «Колесо рабочее»



Рис. 4. Отливка из жаропрочного никелевого сплава «Колесо рабочее»

### Выводы

В статье представлено одно из решений важнейшей технологической задачи в литейном производстве по альтернативной замене гидролизованного раствора этилсиликата, а именно применение бескремнеземного связующего – алюмоборфосфатного концентрата.

Установлена термохимическая устойчивость керамических форм на указанном бескремнеземном связующем при заливке в вакууме жаропрочных никелевых сплавов. Отмечены ресурсо- и энергосберегающий характер разработанной технологии формообразования.

### Литература

1. *Специальные способы литья: учеб. / под ред. Б.С. Чуркина. – Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2010. – 731 с.*
2. *Металлофосфатные связующие и смеси: моногр. / под общ. ред. И.Е. Илларионова. – Чебоксары: Изд-во при Чуваш. ун-те, 1995. – 524 с.*
3. *Патент № 2478453 Российская Федерация. Способ изготовления форм по выплавляемым моделям (варианты) / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, С.С. Верцюх. – 2013. – Бюл. № 10.*

**Знаменский Леонид Геннадьевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры пиromеталлургических и литейных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; [znamenskiilg@susu.ru](mailto:znamenskiilg@susu.ru).

**Ивочкина Ольга Викторовна**, канд. техн. наук, доцент кафедры пиromеталлургических и литейных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; [ivochkinaov@susu.ru](mailto:ivochkinaov@susu.ru).

**Варламов Алексей Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры пиromеталлургических и литейных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; [varlamovas@susu.ru](mailto:varlamovas@susu.ru).

**Южакова Анастасия Алексеевна**, студент кафедры пиromеталлургических и литейных технологий, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск.

*Поступила в редакцию 30 октября 2016 г.*

## RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES OF FORMING PROCESS FOR CASTING SUPERALLOYS

L.G. Znamenskii, [znamenskiilg@susu.ru](mailto:znamenskiilg@susu.ru),

O.V. Ivochkina, [ivochkinaov@susu.ru](mailto:ivochkinaov@susu.ru),

A.S. Varlamov, [varlamovas@susu.ru](mailto:varlamovas@susu.ru),

A.A. Yuzhakova

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Ceramic corundum molds on hydrolysed ethyl silicate solution which have insufficient inertness to poured alloys are widely used in the production of castings from reactive metals alloys. This is due to the presence of high amount of free silica, which is a strong oxidant of such alloy components as aluminium and titanium in vacuum conditions. To solve the indicated problem it was suggested to use aluminium-borophosphate concentrate, chemically cured with periclase, as a silica free binder of ceramic corundum molds. The use of the combination of the indicated mold materials allows not only to enable chemical inertness of the molds, but to operate the process of mold forming. Developed technology provides the acceleration of the mold manufacturing cycle 4...6 times, an increase of the strength of the mold covers, and reduction of the superalloys casting cost. It enables significant improvement of the quality and increases the economic efficiency of manufacturing of precision casting from reactive metals and alloys.

*Keywords: investment casting; ceramic mold; aluminium-borophosphate concentrate; corundum; periclase.*

### References

1. *Spetsialnye sposoby lit'ya* [Special Methods of Casting]. Churkin B.S. (Ed.). Ekaterinburg, Russian State Vocational Pedagogical University Publ., 2010. 731 p.

2. *Metallofosfatnye svyazuyushchiye i smesi* [Metal Phosphate Binders and Mixtures]. Illarionov I.E. (Ed.). Cheboksary, Chuvashia State University Publ., 1995. 524 p.

3. Znamenskii L.G., Ivochkina O.V., Vertyukh S.S. *Sposob izgotovleniya form po vyplavlyаемым modelyam (varianty)* [Ways of Investment Castings Manufacturing (Variants)]. Patent RF, no 2478453, 2013.

*Received 30 October 2016*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Ресурсосберегающая технология формообразования для литья жаропрочных сплавов / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, А.С. Варламов, А.А. Южакова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 87–91. DOI: 10.14529/met160409

### FOR CITATION

Znamenskii L.G., Ivochkina O.V., Varlamov A.S., Yuzhakova A.A. Resource-Saving Technologies of Forming Process for Casting Superalloys. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 87–91. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160409