

ЭКОНОМИЧНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ В ХУДОЖЕСТВЕННОМ ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Л.Г. Знаменский

В статье рассмотрены структура и свойства разработанных экономичных керамических форм на алюмоборфосфатном концентрате высокой точности для кабинетного художественного литья по выплавляемым моделям. Предложено армирование керамической формы муллитосодержащей технологической добавкой, позволяющей существенно повысить ее трещиностойкость. Разработанная, как альтернатива этилсиликатным формам, технология позволяет ускорить цикл формообразования, повысить прочность форм, обеспечить легкое удаление керамики.

Ключевые слова: литье по выплавляемым моделям, кабинетное художественное литье, керамические формы, алюмоборфосфатный концентрат, периклаз, керамзит.

Анализ известных способов литья показывает, что наиболее перспективным для изготовления художественных отливок, отличающихся повышенными требованиями к чистоте и точности рельефа поверхности, является метод литья по выплавляемым моделям (ЛВМ). Однако, в большинстве случаев, на практике этим прогрессивным способом получают художественные отливки лишь мелких и средних размеров. Представляющие наибольшую художественную ценность крупногабаритные кабинетные отливки, такие как «конь с попоной», «весна с Амуром», «лось» и др. получают литьем в кусковые формы.

Процесс формообразования в кусках, предусматривающий метод уплотнения смеси вручную, характеризуется низкой производительностью, повышенной сложностью и трудоемкостью, требует высокой квалификации формовщиков [1], а, главное, не обеспечивает на сегодня необходимое качество поверхности художественных отливок вследствие развитых процессов пригарообразования и заливов по швам.

Проведенный анализ художественного ЛВМ на ряде предприятий Уральского региона показывает увеличение брака с 9,3 % до 22 % по мере повышения массы кабинетных отливок с 0,5 кг до 10 кг.

В связи с вышеизложенным очевидна актуальность задачи совершенствования формообразования в производстве художественного ЛВМ, в особенности крупных размеров и массы.

Поставленная задача была успешно решена на кафедре металлургии и литейного производства ЮУрГУ разработкой процесса изготовления экономичных керамических форм на алюмоборфосфатном концентрате (АБФК) [2].

В соответствии с разработанной технологией формировали четыре слоя огнеупорного покрытия на АБФК, затем модели удаляли в перегретой модельной массе (МВС-15) при температуре 130–140 °С, полученные керамические формы прокаливали при 900–950 °С в течение 4–5 часов и заливали чугуном или латунью. Художественные отливки охлаждались, формы и стержни удалялись механически.

При изготовлении керамических форм использовали суспензию на алюмоборфосфатном концентрате и пылевидном кварце, а обсыпку осуществляли зерновым периклазом, являющимся отвердителем к связующему.

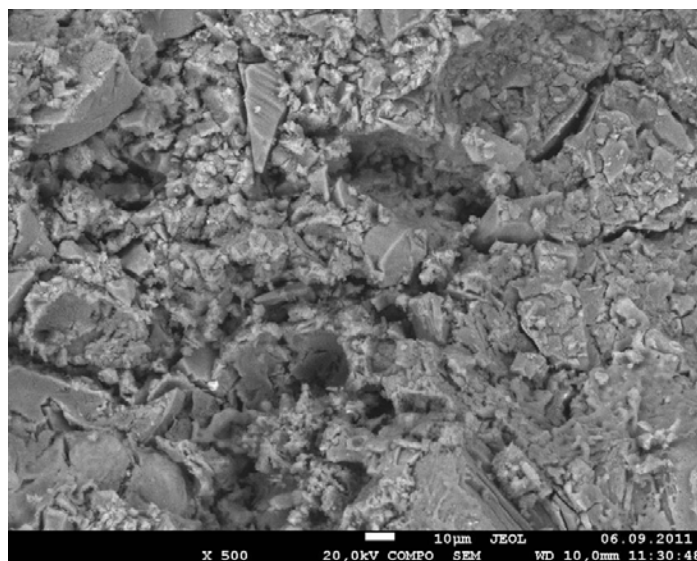
Как показали эксперименты, в этом случае обсыпка внедряется в слой суспензии и начинает взаимодействовать с алюмоборфосфатным концентратом с образованием объемной каркасной структуры из центров отверждения.

В результате сложных реакций между связующим и обсыпкой-отвердителем формируются системы из двузамещенных фосфатов магния, склонных к полимеризации и обуславливающих ускоренное формообразование. Наличие в суспензии фосфат-ионов уменьшает краевой угол смачивания и способствует качественному воспроизведению поверхности восковой модели. Структура прокаленной оболочковой формы, а также химический состав, полученные на электронном растровом низковакуумном микроскопе JEOL JSM 6460LV, представлены на рисунке 1.

Для повышения трещиностойкости керамики предлагается введение в состав суспензии высокопористого материала – керамзита, который создает своеобразный барьер, блокирующий возникновение и развитие трещин. В результате достигается минимальная склонность к образованию трещин керамических форм в процессе их прокалики. С целью установления влияния добавок керамзита на линейное изменение размеров образцов при нагреве

было проведено дилатометрическое исследование разработанной керамической формы на АБФК, результаты которого представлены на рисунке 2.

Дилатометрию керамических форм проводили на дилатометре «РАУ-ЛК» (Венгрия). Для этого образцы диаметром 5 мм и высотой 23 мм нагревали на воздухе со скоростью 10 °/мин, регистрировали со временем τ в зависимости от температуры T (кривая T) расширение (кривая TL), скорость изменения линейных размеров и рассчитывали относительное изменение размеров образцов в % при нагреве. Точность измерений составляла $\pm 0,1$ %.



В	О	Mg	Al	Si	P	Примеси	Итог
13,48	49,57	5,20	2,35	20,54	6,93	1,92	100,00

Рис. 1. Структура оболочковой формы на АБФК с керамзитом (x500)

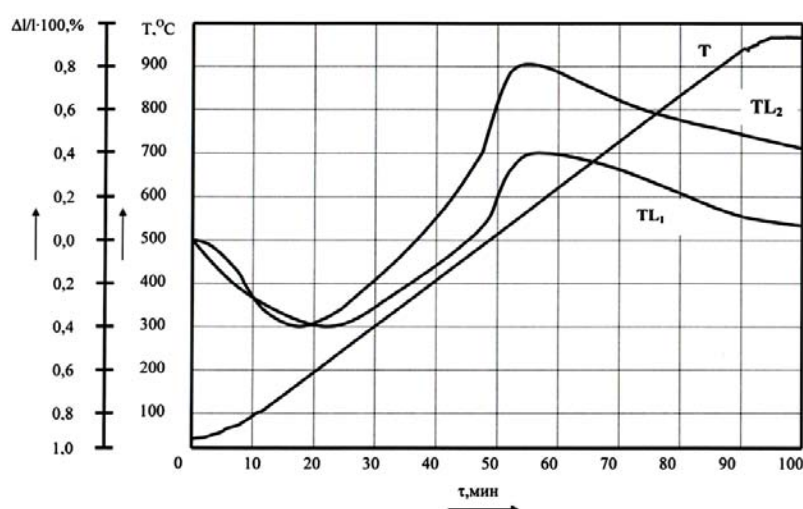


Рис. 2. Дилатометрия образцов керамических форм на АБФК.
 T – изменение температуры во времени, TL_1 и TL_2 – относительное изменение линейного размера образца, соответственно: с керамзитом и без керамзита

Как видно из графика, введение керамзита в суспензию позволяет снизить коэффициент термического линейного расширения в 4 раза, а следовательно, в этом случае значительно снижается вероятность трещинообразования в керамической форме.

В таблице 1 представлены результаты испытаний разработанной суспензии на АБФК по сравнению с базовой суспензией на гидролизованном растворе этилсиликата 40 (условное содержание SiO_2 14 %, наполнитель суспензии – пылевидный кварц).

В целом, результаты испытаний показывают, что по сравнению с используемой в художественном литье по выплавляемым моделям технологией оболочкового литья в керамическую форму на этилсиликате, разработанная способствует ускорению цикла изготовления форм в 4–6 раз, повышению прочности керамической оболочки. Это создает условия для значительного улучшения качества поверхности сложнопрофильных, тонкорельефных художественных отливок, изготавливаемых литьем по выплавляемым моделям. Кроме того, алюмоборфосфатный концентрат является недорогим, недефицитным, экологически чистым материалом.

Таблица 1

Свойства суспензий и форм
на гидролизованном растворе этилсиликата и АБФК

Свойства	Суспензия и форма на гидролизованном растворе этилсиликата (базовая технология)	Суспензия и форма на АБФК (разработанная технология)
Условная вязкость суспензии по ВЗ-4, с	65–75	55–65
Газопроницаемость керамической оболочки, ед.	2–4	11–16
Продолжительность изготовления оболочки, ч.	24	4–6
Прочность образцов на изгиб, МПа	2,8–3,0	5,5–6,0
Прочность образцов на изгиб после прокалики при 900 °С, МПа	4,0–4,8	6,5–7,0
Остаточная прочность (выбиваемость) образцов, МПа	2,3–2,5	1,0–1,5

Разработанный способ изготовления керамических форм на алюмоборфосфатном концентрате [3] решает важнейшую технологическую задачу в художественном литье по выплавляемым моделям по полной замене дорогостоящего, экологически вредного органического этилсиликата, требующего проведения длительной операции гидролиза с применением пожароопасного этилового спирта. Предложенная технология позволяет изготов-

ливать качественные керамические формы на дешевом безопасном алюмо-борфосфатном концентрате, причем, с физико-механическими свойствами, не уступающими этилсиликатным формам, а по выбиваемости, газопроницаемости, скорости формообразования существенно их превышающими.

На основе дериватографического (рис. 3) и рентгенофазового анализов (рис. 4) установлены механизм формирования прочности форм на АБФК и процессы, протекающие при их нагреве и охлаждении, в том числе при армировании муллитосодержащей технологической добавкой – керамзитом.

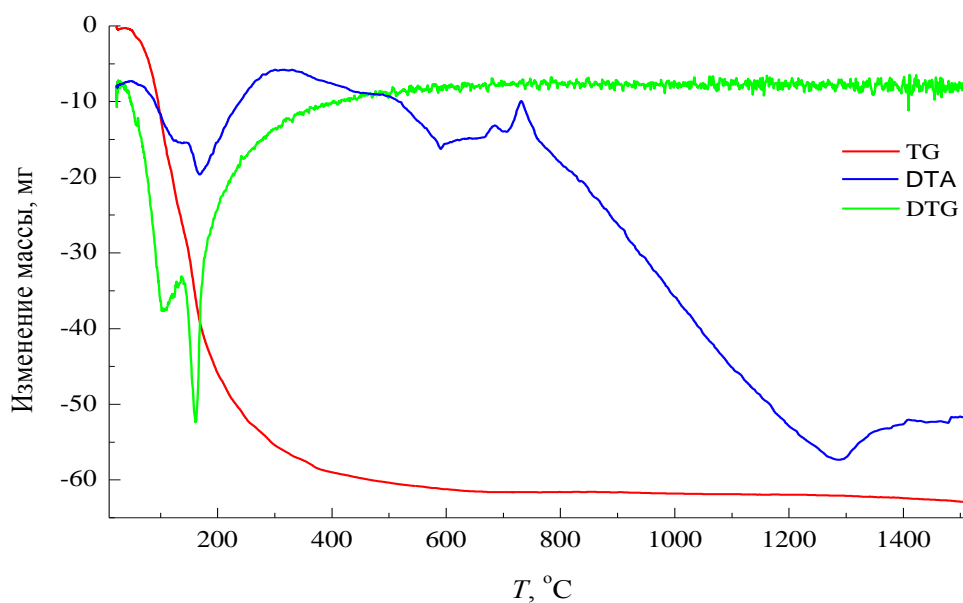


Рис. 3. Дериватограмма разработанной керамической смеси: масса образца 2 г

В результате выделения из раствора, роста и срастания кристаллогидратов различных форм фосфатов и полифосфатов происходит отверждение смеси. При этом основная роль принадлежит кристаллогидратам $Mg(H_2PO_4)_2 \cdot 3H_2O_{TB}$ и $MgHPO_4 \cdot 3H_2O_{TB}$, т.е. продуктам химического взаимодействия водного раствора АБФК и периклаза.

При нагреве форм из них удаляется кристаллизационная вода и протекают фазовые превращения, отвечающие за рост прочности. Двухзамещенные ортофосфаты магния становятся безводными и переходят в пирофосфаты и метафосфаты. Параллельно проходит дегидратация борной кислоты с образованием оксида бора, который способствует спеканию при прокатке. Наличие в керамзите армирующей фазы муллита ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), равномерно распределенного в объеме формы в виде своеобразного каркаса, усиливает эффект спекания и обеспечивает высокую «горячую» прочность керамических форм.

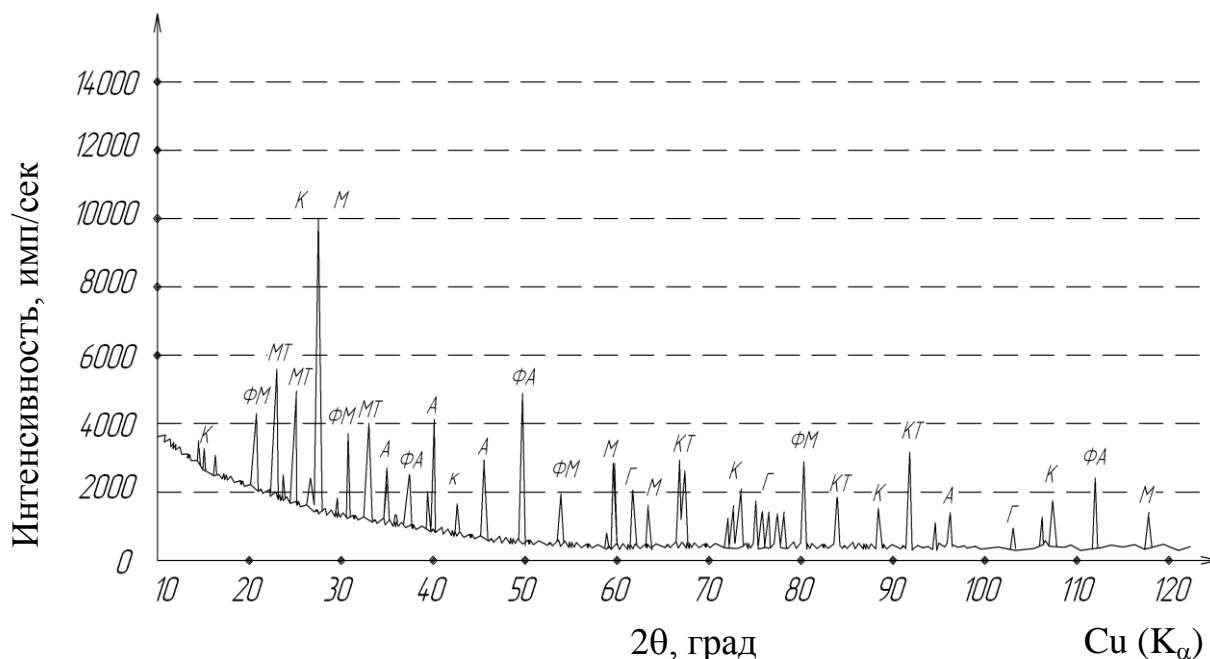


Рис. 4. Дифрактограмма прокаленного образца форм: А – Al_2O_3 ;
К – β -кварц; М – MgO ; ФА – AlPO_4 ; ФМ – $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$;
КТ – кристобалит; Г – Fe_2O_3 ; МТ – $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

Образующийся на этом этапе VPO_4 , после формирования отливки и при последующем охлаждении форм ниже 500°C , распадается на кристаллический V_2O_3 и газообразный P_2O_5 , что приводит к их разупрочнению и, как следствие, улучшению выбиваемости отливок.

Полученные художественные отливки («конь с попоной», «медведь на задних лапах» из чугуна, «лев», «тигр с гирей», «восточная женщина» из латуни и др.) отличались повышенным качеством тонкорельефной поверхности.

В целом, разработанная технология изготовления керамических форм позволяет в 1,4–1,6 раза уменьшить массу, снизить трудоемкость и продолжительность изготовления художественных кабинетных отливок методом ЛВМ за счет повышения в 2–3 раза размерной точности форм, а также ускорения цикла формообразования при одновременном увеличении прочности и термостойкости керамических форм. Снижение массы и толщины стенок художественных отливок существенно улучшают чистоту и качество поверхности рельефа, значительно повышают художественную ценность литья.

На примере ЗАО «Уральская бронза» калькуляция себестоимости 1 т годного художественного литья по выплавляемым моделям с использованием разработанных и базовых технологий приведена в табл. 2, а технико-экономические показатели (ТЭП) – в табл. 3.

Таблица 2
Калькуляция себестоимости 1 т годного литья по вариантам технологий
(в ценах мая 2008 г.) на ЗАО «Уральская бронза»

Статья калькуляции	Затраты, тыс. руб.	
	Базовая технология	Разработанная технология
1. Основные материалы	165,21	152,9
2. Вспомогательные материалы	19,58	16,37
3. Топливо и энергия технологические	30,35	25,13
4. Основная заработная плата	96,47	91,43
5. Дополнительная заработная плата	41,72	37,71
6. Отчисления на соцстрах	25,4	23,82
7. Потери от брака	38,18	20,07
8. Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования	22,16	21,35
9. Общецеховые расходы	23,45	21,64
10. Специнструмент	28,09	26,18
11. Общезаводские и непроизводственные расходы	108,23	99,83
12. Возвратные отходы	-39,87	-36,51
Итого:	558,97	499,12

Таблица 3
Технико-экономические показатели

Наименование ТЭП	ЗАО «Уральская бронза»		
	Базовая технология	Разработанная технология	Отклонение, %
Годовой объем производства, т	28,0	30,1	7,5
Производительность, тыс.шт./год	4,2	4,5	7,14
Энергоемкость, руб./руб.	0,052	0,0495	-4,7
Материалоемкость, руб./руб.	0,337	0,333	-0,99
Трудоемкость 1 кг годного литья, чел.-час	2,14	1,95	-8,88
Потери от брака, %	6,83	4,02	-41,14
Себестоимость 1 т литья, тыс. руб.	558,97	499,12	-10,71
Годовая экономия затрат, тыс. руб.	1800,0		

Таким образом, разработанная технология ускоренного изготовления экономичных керамических форм на АБФК открывает широкую перспективу для перевода производства кабинетных художественных отливок с низкопроизводительной и трудоемкой кусковой формовки на прогрессивный способ ЛВМ.

Библиографический список

1. Зотов, Б.Н. Художественное литье / Б.Н. Зотов. – М.: Машиностроение, 1982. – 288 с.
2. Знаменский, Л.Г. Процессы ускоренного формообразования в литье по выплавляемым моделям: монография / Л.Г. Знаменский, А.С. Варламов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 246 с.
3. 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. – 5 с.