

КОРУНДОВЫЕ ФОРМЫ НА АЛЮМОБОРФОСФАТНОМ КОНЦЕНТРАТЕ В ТОЧНОМ ЛИТЬЕ

Л.Г. Знаменский, С.С. Верцюх, А.С. Варламов, М.В. Судариков

ALUMINA MOULDS ON ALUMINA-BORON-PHOSPHATE CONCENTRATE IN INVESTMENT CASTING

L.G. Znamensky, S.S. Vertysyukh, A.S. Varlamov, M.V. Sudarikov

Разработана технология изготовления керамических корундовых форм на алюмоборфосфатном концентрате. Эта технология является альтернативой этилсиликату и силикатным системам формообразования. Она позволяет улучшить комплекс физико-механических свойств керамических форм в литье по выплавляемым моделям. В результате улучшается качество точных отливок из сплавов химически активных металлов.

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

Casting technology of ceramic alumina moulds on alumina-boron-phosphate concentrate is developed. This technology is an alternative to ethyl silicate and silicate systems of forming. It allows to improve the complex of physical and mechanical properties of ceramic moulds in investment casting. This results in improvement of the quality of investment castings of chemically active alloys.

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

При изготовлении точных отливок для нужд машиностроения, аэрокосмического комплекса и приборостроения традиционно применяют прогрессивный специальный способ – литье по выплавляемым моделям. При этом в литейных процессах сплавов химически активных металлов (жаропрочные никелевые и титановые сплавы, сложнолегированные стали и др.) используют керамические корундовые формы на гидролизованном растворе этилсиликата (ГРЭТС), которые до недавнего времени в целом удовлетворяли требованиям производства.

Электрокорунд в качестве наполнителя, представленный главным образом фазой α - Al_2O_3 , является одной из самых устойчивых оксидных систем при вакуумной плавке и заливке жаропрочных сплавов. Используемый для подготовки связующего этилсиликат, напротив, после прокалики «вносит» в литейную керамику термохимически неустойчивый при этих температурах в условиях вакуума кремнезем, что приводит к появлению поверхностных дефектов при формировании точных отливок ответственного назначения. Кроме того, этилсиликат – один из самых дорогостоящих и экологически опасных формовочных материалов в литейном производстве.

Известны процессы подготовки бескремнеземного связующего «АЛЮМОКС», основанные на взаимодействии алюмоорганического соединения со спиртом и хелатирующим агентом [1]. Однако его приготовление имеет ресурсозатратный

характер и характеризуется сложностью, многооперационностью, длительностью. При этом для обеспечения требуемых прочностных характеристик керамических форм необходимы повышенные температуры прокалики (1300–1400°C), что делает процесс их изготовления энергоемким.

Таким образом, на современном этапе научно-технического прогресса в связи с возрастающими требованиями к точным отливкам инновации в этой области связаны с разработкой и промышленным освоением новых ресурсосберегающих технологических процессов формообразования с применением качественных, экономичных и экологически чистых материалов. Получаемые керамические формы должны быть термохимически устойчивые к заливаемым в вакууме сплавам химически активных металлов и обладать улучшенными физико-механическими свойствами.

С целью полной замены дорогостоящего, экологически вредного этилсиликата были предприняты попытки по использованию раствора алюмоборфосфатного концентрата (АБФК) в качестве связующего керамических корундовых форм.

При этом использовали суспензию на АБФК и электрокорунде, а обсыпку осуществляли зернистым 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 ре-

зультате сложных реакций между связующим и обсыпкой-отвердителем формируются системы из двузамещенных фосфатов магния, склонных к полимеризации и обуславливающих ускоренное формообразование. Наличие в суспензии фосфатионов уменьшает краевой угол смачивания водного раствора связующего и способствует качественному воспроизведению поверхности восковой модели [2]. Структура прокаленной оболочковой формы, а также химический состав, полученные на электронном растровом низковакуумном микроскопе JEOL JSM 6460LV, представлены на рис. 1.

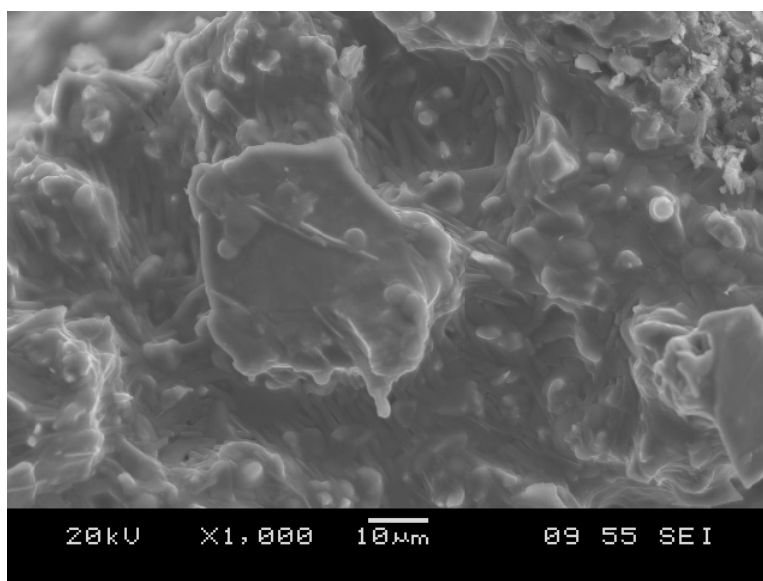
В таблице приведены результаты испытаний технологии изготовления керамических оболочковых форм на АБФК в сравнении с базовой на гидролизованном растворе этилсиликата-40 (условное содержание SiO₂ в связующем – 14 %, наполнитель суспензии – электрокорунд).

Разработанная технология обеспечивает ускорение цикла изготовления форм в 4–6 раз и повышение прочности формооболочек. Это создает условия для значительного улучшения качества и повышения экономической эффективности изго-

товления точных отливок. Кроме того, АБФК является недорогим, недефицитным, экологически чистым материалом.

Дилатометрия керамических корундовых форм на АБФК представлена на рис. 2. Ее анализ показывает, что в интервале температур 20–1000 °С изменение размеров образцов составляет 0,01–0,015 %. При этом фиксируется их плавное расширение, без резких скачков. Это обеспечивает керамическим формам высокую точность и возможность их прокалки с повышенными скоростями, без выдержек при «опасных» с позиций трещинообразования в керамике температурах. В результате существенно снижается энергоемкость этого технологического процесса.

На основе дериватографического (рис. 3) и рентгенофазового анализов установлены механизм формирования прочности керамических форм на АБФК-связующем и процессы, протекающие при нагреве и охлаждении указанных форм, в том числе при их армировании муллитосодержащей технологической добавкой. Твердение смеси происходит в результате выделения из



| Спектр | O | Mg | Al | P | Примеси | Итого |
|----------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|
| Спектр 1 | 52,02 | 3,53 | 28,77 | 14,06 | 1,62 | 100,00 |
| Спектр 2 | 51,04 | 4,15 | 27,38 | 15,59 | 1,84 | 100,00 |
| Спектр 3 | 44,63 | 14,17 | 28,59 | 10,41 | 2,2 | 100,00 |
| Среднее | 49,23 | 7,28 | 28,25 | 13,36 | 1,88 | 100,00 |

Рис. 1. Результаты растровой электронной микроскопии корундовой керамической формы на АБФК (×1000)

Сравнительные характеристики керамических корундовых форм на разных связующих

| Характеристики | Формы на ГРЭС | Формы на АБФК |
|---|---------------|---------------|
| Газопроницаемость керамической оболочки, ед. | 1–2 | 5–7 |
| Продолжительность изготовления оболочки, ч | 20–24 | 4–6 |
| Прочность образцов на изгиб при 20 °С, МПа | 5,0–6,5 | 6,5–7,0 |
| Прочность образцов на изгиб при 900 °С, МПа | 5,5–7,0 | 8,0–9,5 |
| Остаточная прочность (выбиваемость) образцов, МПа | 3,5–4,5 | 1,5–1,8 |

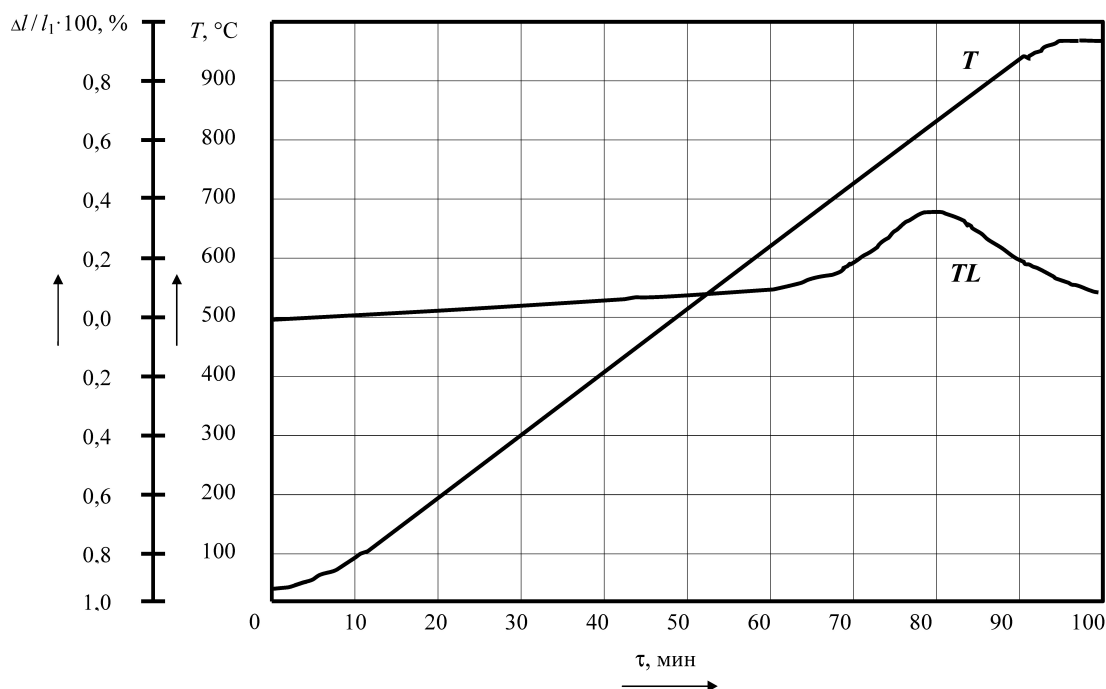


Рис. 2. Дилатометрия керамического образца на АБФК: *T* – изменение температуры во времени, *TL* – относительное изменение линейного размера образца

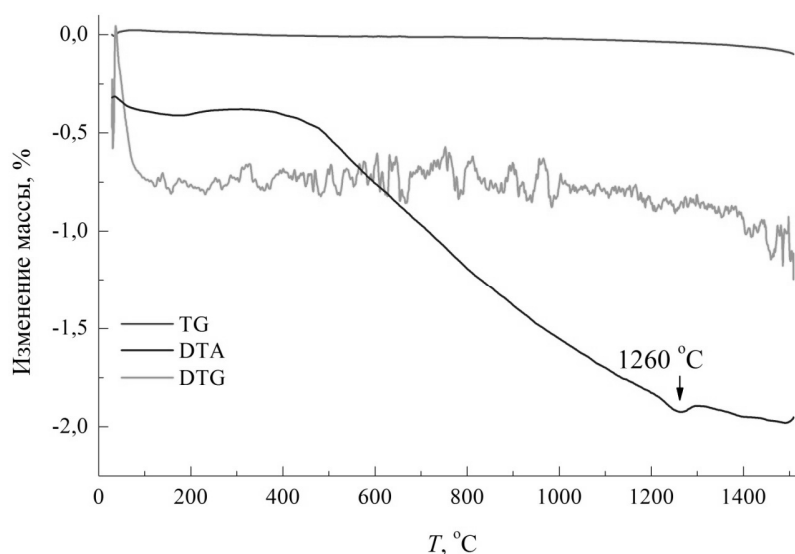


Рис. 3. Дериватограмма корундового керамического образца на АБФК

раствора, роста и срастания кристаллогидратов различных форм фосфатов и полифосфатов [3]. При этом основная роль принадлежит кристаллогидратам $Mg(H_2PO_4)_2 \cdot 3H_2O_{тв}$ и $MgHPO_4 \cdot 3H_2O_{тв}$, которые образуются в результате химического взаимодействия суспензии на АБФК и обсыпки из зернистого периклаза. При нагреве форм в них проходят фазовые превращения, отвечающие за рост прочности, связанные с удалением кристаллизационной воды, при котором одно- и двузамещенные ортофосфаты магния становятся безводными и переходят в пирофосфаты и метафосфаты. Параллельно удалению влаги из металлофосфатов проходит дегидратация борной кислоты с образо-

ванием оксида бора, который способствует спеканию керамических форм при прокатке и наряду с армирующей фазой муллита ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), равномерно распределенного в виде каркаса, обеспечивает высокую «горячую» прочность керамических форм. На этом этапе образуется также BPO_4 , который после формирования отливки и при последующем охлаждении форм до $500^\circ C$ и ниже распадается на кристаллический B_2O_3 и газообразный P_2O_5 , что и вызывает эффект разупрочнения керамических форм и улучшение условий удаления из них точных отливок.

Описанные процессы обуславливают для керамических оболочковых форм на АБФК сочета-

ние важнейших технологических свойств: высокой «холодной» и «горячей» прочности, с одной стороны, и разупрочнения после формирования отливки и последующего охлаждения – с другой. Высокие прочностные характеристики форм на стадии формовки и заливки, в совокупности с разупрочнением смеси и с последующей частичной деструкцией формы на стадии охлаждения и выбивки, обеспечивают получение отливок высокого качества, а также минимальную трудоемкость процессов выбивки форм и очистки отливок от остатков заземленной керамики.

Таким образом, решается важнейшая технологическая задача в литье по выплавляемым моделям по полной замене дорогостоящего, экологически вредного органического этилсиликата, требующего проведения длительной операции гидролиза с применением пожароопасного этилового спирта. Разработанная технология позволяет изготавливать качественные оболочковые керамические формы на дешевом безопасном алюмобор-

фосфатном концентрате, причем с физико-механическими свойствами, не уступающими этилсиликатным формам, а по выбиваемости, газопроницаемости, скорости формообразования существенно их превышающими. В результате создаются условия для улучшения качества изготовления точных отливок ответственного назначения.

Литература

1. *Повышение качества литых лопаток ГТД / В.С. Моисеев, М.С. Варфоломеев, А.С. Муркина, Г.И. Щербакова // Литейщик России. – 2012. – № 5. – С. 36–38 с.*

2. *Знаменский, Л.Г. Активация физическими полями литейных процессов: моногр. / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, В.В. Ерофеев. – Челябинск: Изд-во ЦНТИ, 2009. – 249 с.*

3. *Металлофосфатные связующие и смеси: моногр. / под общ. ред. И.Е. Илларионова. – Чебоксары: Изд-во при Чуваш. ун-те, 1995. – 524 с.*

Поступила в редакцию 10 сентября 2012 г.