

УДК 621.074

О ПЕРСПЕКТИВАХ РЕЦИКЛИНГА БОЯ КВАРЦЕВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Леушина Л.И.¹, к.т.н., доцент кафедры «Металлургические технологии и оборудование»

*Леушин И.О.¹, д.т.н., заведующий кафедрой «Металлургические технологии
и оборудование» (igoleu@yandex.ru)*

Плохов С.В.¹, д.т.н., профессор кафедры «Нанотехнологии и биотехнологии»

*Деев В.Б.², д.т.н., профессор кафедры «Литейные технологии и художественная
обработка материалов» (deev.vb@mail.ru)*

¹ Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексея (федеральный опорный университет)
(603950, Россия, Нижний Новгород, ул. Минина, 24)

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

Аннотация. Использование для обсыпки кварца в его низкотемпературной модификации создает дополнительные риски при изготовлении форм в части их пониженной трещиностойкости вследствие полиморфных превращений и на практике часто приводит к растрескиванию и даже разрушению отдельных слоев стенки оболочки или формы в целом. Практикуемое во многих литейных цехах предварительное прокаливание обсыпочно материала может несколько снизить негативное последствие опасных полиморфных превращений кварца. Однако при этом плавный подогрев форм с целью снижения вероятности их растрескивания, который проводят в опорном наполнителе, способствует увеличению длительности технологического процесса и дополнительным энергетическим затратам. Среди вариантов снижения вероятности растрескивания и разрушения оболочковых форм в ходе их прокаливания наиболее известны замена пылевидного кварцевого песка, как наполнителя, на диспергированный кварцевый песок полифракционного состава, дистенсиллиманит, пылевидный алюмосиликат, сферокоунд или плавленый кварц. Однако все они достаточно дороги и не соответствуют современным вызовам и требованиям экономии ресурсов в литейно-металлургических производствах. В этой связи обращает на себя внимание керамический бой оболочек стального и алюминиевого литья по выплавляемым моделям на основе кремнезема. В настоящее время бой отработавших керамических оболочковых форм литья по выплавляемым моделям не используется для рециклинга. Этот материал отправляют в отвал или применяют в качестве опорного наполнителя опок при формовке в них оболочек. Проведенный компонентный химический и фазовый анализ материала показал, что в составе боя керамических оболочек, образующегося после выбивки стальных и алюминиевых отливок из форм, помимо кварца в высокотемпературных фазах тридимита и кристобалита (основа) содержится до 5 – 10 % железа и железной окалины и соответственно 3 – 5 % алюминия и его оксидов. Использование керамического боя оболочек в качестве обсыпочно материала исключает повторное протекание полиморфных превращений кварца при прокаливании и заливке форм, определяющих изменение объема, плотности и смены видов кристаллических решеток материала, что позволяет повысить трещиностойкость и прочность оболочек и минимизировать брак получаемых отливок. Остаточные железо, алюминий и их оксиды способствуют повышению технологичности литейной формы. Опытное-экспериментальное опробование предложенного варианта рециклинга в условиях действующего производства подтвердило его эффективность.

Ключевые слова: керамическая оболочковая форма, литье по выплавляемым моделям, кварц, тридимит, кристобалит, полиморфное превращение, рециклинг, ресурсосбережение, бой керамических форм.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-11-859-865

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, литье по выплавляемым моделям (ЛВМ), являясь одним из специальных способов производства отливок, наряду с такими преимуществами, как высокая размерная точность литых изделий, характеризуется высокой ресурсозатратностью [1 – 9]. Прежде всего, это длительность производственного цикла, высокое энергопотребление на ряд технологических операций (например, сушка и прокаливание оболочковых форм) и дороговизна материалов литейных форм и моделей. По этой причине экономически оправданными традиционно считаются лишь массо-

вое и крупносерийное производство литья этим способом.

До сих пор в качестве материала оболочковых литейных форм на отечественных предприятиях, занимающихся производством методом ЛВМ отливок из сталей и алюминиевых сплавов, широко применяется керамика на основе диоксида кремния (кремнезема). Сдерживающим фактором является склонность кварцевой керамики к полиморфным превращениям в условиях температурных нагрузок, на практике приводящей к растрескиванию и даже разрушению отдельных слоев стенки оболочки или формы в целом.

Существенным недостатком кварца являются его полиморфные превращения, которые протекают при изменении температуры и сопровождаются резким изменением объема [10, 11], в итоге приводящим к растрескиванию и разрушению оболочковых форм (ОФ).

Присутствуя в составе материала формы (суспензия, огнеупорная обсыпка), а при прокаливании в наполнителе, кварц претерпевает полиморфные превращения при нагреве, протекающие с изменением объема, что способствует появлению напряжений и трещин в ОФ.

В научной литературе отсутствует единый подход относительно порядка наименования модификаций кварца: одни исследователи придерживаются обозначения различных модификаций символами α , β в порядке повышения или понижения температуры превращения, другие порядок обозначений применяют по степени распространенности или в порядке открытия. Вслед за П. Ниггли, Ф. Ринне, А.Е. Ферсманом, Я.И. Шкленником [12], более рациональным следует считать первый порядок обозначения. Согласно диаграмме Феннера, схематично переход из одной модификации кварца при нагреве в другую можно представить следующим образом: β -кварц \rightarrow α -кварц \rightarrow α -тридимит \rightarrow α -кристобалит \rightarrow плавленный кварц.

Кристаллическая структура кварца и его полиморфных модификаций характеризуется расположением иона Si^{4+} всегда в окружении четырех ионов O^{2-} , находящихся в вершинах тетраэдра. Каждая вершина тетраэдра одновременно служит вершиной другого, смежного с ним, тетраэдра. Кристаллические решетки состоят из каркасов тетраэдров, сцепленных друг с другом через вершины, при этом различаются ориентировка и общая симметрия в их расположении. Упаковка ионов O^{2-} не является плотной, и в каркасах между тетраэдрами присутствуют «пустотки» (терминология А.Г. Бетехтина [12]). В низкотемпературных модификациях кварца они имеют малые размеры, а в более «рыхло» построенных высокотемпературных модификациях эти «пустотки» крупнее. От этого зависит плотность модификаций кварца [13].

При температурах ниже 573°C устойчивой формой диоксида кремния является β -кварц ($\rho = 2650 \text{ кг/м}^3$). При нагревании он претерпевает ряд последовательных полиморфных превращений, связанных с изменением объема, из-за смены вида кристаллической решетки. При температуре 573°C β -кварц переходит в α -кварц ($\rho = 2530 \text{ кг/м}^3$), при этом объем скачкообразно увеличивается на 2,4 %, что приводит к растрескиванию кристаллов и увеличению пылевидной составляющей в материале основы оболочки. При температуре 870°C α -кварц медленно переходит в α -тридимит ($\rho = 2220 \text{ кг/м}^3$) с увеличением объема на 15,1 % и дальнейшим уменьшением плотности. При последующем нагревании до 1470°C α -тридимит претерпевает полиморфное превращение в α -кристобалит ($\rho = 2190 \text{ кг/м}^3$)

с увеличением объема на 4,7 % и снижением плотности. При температуре 1713°C α -кристобалит плавится, а при последующем охлаждении превращается в плавленный кварц (изменение объема 0,1 %) [14, 15].

Наиболее существенно для термонапряженного состояния формы быстропротекающее превращение при 573°C , когда при нагреве увеличивается линейный размер на 1,4 %. Это является одной из причин образования трещин в оболочках и засоров в отливках. Превращения при 870°C происходят крайне медленно и, согласно работе [16], для практики литья значения не имеют. Кроме того, практикуемое во многих литейных цехах предварительное прокалывание обсыпочного материала может несколько снизить негативное последствие опасных полиморфных превращений кварца.

Плавный подогрев форм с целью снижения вероятности их растрескивания, который проводят в опорном наполнителе, способствует увеличению длительности технологического процесса и дополнительным энергетическим затратам.

Одним из вариантов снижения вероятности растрескивания ОФ в ходе их прокалывания является замена пылевидного кварцевого песка, как наполнителя, на диспергированный кварцевый песок полифракционного состава. При этом улучшаются реологические свойства суспензии, повышается трещиностойкость форм и снижается брак по засорам и пробой оболочек [17].

Согласно [18], применение сферокорунда (полюе сферы огнеупорных оксидов) в качестве обсыпочного материала позволяет снижать массу оболочки в 2 – 3 раза и получать ровный слой обсыпки без манипуляций с модельным блоком.

В исследовании [19] для замены пылевидного дистенсиллиманитового концентрата, часто применяемого в качестве огнеупорного наполнителя для суспензий, предлагается использовать пылевидный алюмосиликат, который не претерпевает полиморфных превращений в интервале рабочих температур керамической формы. Из-за низкого коэффициента термического расширения литейные формы, полученные на пылевидном алюмосиликате, имели высокую прочность при высоких температурах. При этом стоимость пылевидного алюмосиликата гораздо ниже дистенсиллиманитовых порошков.

Перспективным материалом для замены кварцевого песка является плавленный кварц. В результате его применения сокращается количество слоев ОФ, время сушки, расход вспомогательных материалов [20 – 22]. Использование плавленного кварца (торговая марка «Экосил-мелур») способствует улучшению качества оболочки вследствие низкого коэффициента термического расширения, высокой химической стойкости и малой насыпной плотности указанного материала.

Однако плавленный кварц является более дорогим по сравнению с кварцевым песком. Кроме того, по мнению авторов работы [23], в спеченном состоянии газопрони-

цаемость плавленного кварца в четыре раза меньше, чем у кристаллического.

Необходимо отметить, что замена пылевидного кварца на более термостойкие, но дорогие наполнители, такие как корунд, прозрачное и непрозрачное кварцевое стекло, циркон, не всегда обеспечивает высокую термостойкость ОФ, так как на нее влияет не только терморасширение материала наполнителя, но и термомеханические изменения связующих материалов при прокаливании и заливке. Термомеханические свойства керамики с одинаковым огнеупорным наполнителем, таким как пылевидный кварц, не отличаются, но на разных связующих материалах, например, на основе жидкого стекла и гидролизованного этилсиликата, значительно различаются [24].

Существенной проблемой ЛВМ является отсутствие рециклинга боя отработавших керамических оболочковых форм (рис. 1). Практически повсеместно весь этот материал до последнего времени отправляли в отвал либо, в лучшем случае, использовали в качестве опорного наполнителя опок при формовке в них оболочек.

Попытки использовать этот материал во вторичном обороте, предпринимавшиеся до сих пор, не дают существенных результатов. Так, с целью сокращения расхода огнеупорного материала, повышения газопроницаемости, термостойкости и прочности оболочковых форм было предложено [25] обсыпать третий слой оболочки крупной фракцией, а последующие слои – мелкой фракцией предварительно просушенного керамического боя форм (возврата) после выбивки отливок. Однако это предложение не нашло широкого применения на производстве из-за введения дополнительной операции сушки керамического боя (возврата) перед использованием, а также того факта, что согласно предлагаемой технологии возврат должен был использоваться, начиная с третьего слоя формы, в то время как



Рис. 1. Модельный блок ЛВМ

Fig. 1. Model block of investment casting

для формирования первых двух слоев требовались свежие дорогостоящие материалы.

Таким образом, работа по поискам вариантов рециклинга боя керамических оболочек ЛВМ долгое время считалась бесперспективной, экономически нецелесообразной. Однако необходимость экономии ресурсов в металлургическо-литейных производствах заставила вернуться к данному вопросу.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследований был выбран керамический бой оболочек стального и алюминиевого литья по выплавляемым моделям на основе кремнезема (рис. 2). Анализировались химический, фазовый и гранулометрический состав материала. Компонентный химический состав определялся гравиметрическим методом в лабораториях Института физико-химических технологий и материаловедения Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. Для оценки фазового состава по методу Ритфелда использовался промышленный дифрактометр марки D8 ENDEAVOR. Гранулометрия материала осуществлялась ситовым анализом.

Рассматривалась возможность применения керамического боя после определенной подготовки в качестве материала форм ЛВМ, по предварительной оценке позволяющего обеспечить повышение трещиностойкости ОФ относительно форм, изготовленных на основе низкотемпературных β - и α -модификаций кварца.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведенного компонентного химического анализа, в материале, образующемся после выбивки стальных отливок (стали марок 20Л, 30Л, 40ХЛ ГОСТ 977-88; 20Х13Л ГОСТ 2176-77) из форм ЛВМ, содержится до 5 – 10 % железа и железной окалины, а в материале, образующемся после выбивки из форм алюминиевых отливок (алюминиевые сплавы марок АК7, АК9, АК12, АК5М2, АК9М2 по ГОСТ 1583-93 по ГОСТ 1583-93), соответственно до 3 – 5 % алюминия и его оксидов.

Фазовый анализ материала показал, что в составе боя керамических оболочек, образующегося после выбивки стальных и алюминиевых отливок из форм, в основном содержатся высокотемпературные фазы кварца в виде α -тридимита и α -кristобалита (см. таблицу).

В исходном состоянии после выбивки оболочковых форм куски керамического боя имели размеры от 10 до 60 мм, поэтому требовалось их измельчение в дробилке до зерновой фракции для дальнейшего применения.

Оценка возможности применения керамического боя в качестве обсыпного материала оболочковых форм [26] осуществлялась в два этапа. На первом этапе



Рис. 2. Керамический бой оболочковых форм

Fig. 2. Ceramic shards of shell molds

формулировались предпосылки получения ожидаемого эффекта в части повышения трещиностойкости ОФ. На втором проводилось опытно-промышленное опробование.

Использование для обсыпки кварца в его низкотемпературной модификации создает дополнительные риски изготовления форм в части их пониженной трещиностойкости вследствие полиморфных превращений.

Высокотемпературные фазы кварца – тридимит и кристобалит формируются в материале необратимо в ходе прокаливании керамических оболочек и далее при заливке ОФ металлическим расплавом и выдержке до выбивки. Они имеют меньший коэффициент линейного термического расширения по сравнению с низкотемпературными фазами кварца – α - и β -кварцем. Их использование в качестве обсыпочногo материала исключает повторное протекание полиморфных превращений кварца при прокаливании и заливке форм, обуславливающих изменение объема, плотности и смены видов кристаллических решеток материала, что позволяет повысить трещиностойкость и прочность оболочек и минимизировать брак получаемых отливок.

Можно предположить, что остаточный свободный металл (железо и алюминий в случае керамического боя оболочковых форм стального и алюминиевого литья соответственно) создает своеобразный армирующий каркас и способствует повышению теплопроводности материала оболочки, позволяя получать мелкозернистую микроструктуру отливок за счет высокой скорости ох-

лаждения формы. Оксид железа (алюминия) в составе боя керамических оболочек стального (алюминиевого) литья снижает вероятность образования пригара при заливке форм металлическим расплавом, либо делает его легкоотделяемым, поскольку большей частью присутствует в виде гематита (корунда). Это, в свою очередь, создает предпосылки для улучшения термостойкости формы – ее способности выдерживать без разрушения резкие перепады температуры.

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ

Опытно-экспериментальное опробование варианта рециклинга проводилось в условиях участка точного литья металлургического производства АО «Арзамасский приборостроительный завод им. П.И. Пландина».

Оболочковые формы изготавливали следующим образом. Для приготовления огнеупорной суспензии использовалось готовое связующее ГС-20Э (ТУ 6-02-1-046-95) и маршалит (искусственный пылевидный кварц) марки А и Б (ГОСТ 9077-82). Для доводки связующего до рабочей вязкости использовалась добавка азотной кислоты.

В качестве обсыпочногo материала применялся измельченный бой керамических оболочек стального и алюминиевого литья по выплавляемым моделям, прошедший просеивание с целью распределения по фракциям.

Для первого слоя применялся бой со средним размером фракции 0,2 мм, для последующих слоев – свыше 0,3 мм.

Равномерное покрытие поверхности модельного блока огнеупорной суспензией проводилось послойно путем двух-трехкратного погружения блока в рабочую емкость гидролизера с целью удаления пузырьков воздуха с поверхности блока и предоставления возможности стекания избытку суспензии. Сушку каждого слоя проводили на воздухе в течение 5 – 6 ч при температуре 22 – 28 °С и влажности не выше 60 %. Общее количество слоев оболочковой формы равнялось шести.

Вытопка моделей осуществлялась горячей водой при температуре 90 – 99 °С. Далее проводилась суш-

Фазовый состав керамического боя оболочковых форм

Phase composition of ceramic shards of shell molds

Фаза	Стальное литье	Алюминиевое литье
Тридимит	62	78
Кристобалит	29	17
Кварц	2	2
Корунд	–	3
Гемитит	7	–

ка ОФ на воздухе в течение 2,0 ч. Затем выполнялась формовка ОФ в прокалочные опоки с использованием в качестве наполнителя измельченного керамического боя оболочек. Прокаливание ОФ в опорном наполнителе в прокалочной печи СНОЛ 8.16.5/10 осуществлялось по режиму: нагрев до 900 °С со скоростью не более 150 °С в час с выдержкой при температурном максимуме 4 – 6 ч.

В многослойных ОФ изготавливались отливки «Вилка» массой 1,6 кг из стали 09Х17Н3СЛ (ГОСТ 977-88) с толщиной стенки до 5 мм (рис. 3, 4). Заливка форм проводилась при температуре 1580 – 1600 °С.

Результаты промышленных испытаний показали, что из десяти опытных оболочек ни одна не разрушилась при прокаливании и последующей заливке стальным расплавом.

Выводы

Разработан и опробован в производственных условиях технологический вариант рециклинга боя керамических оболочек стального и алюминиевого литья по выплавляемым моделям, предусматривающий применение материала после необходимой подготовки в качестве обсыпки многослойных литейных форм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Leushin I.O., Leushina L.I., Grachev A.N., Ulyanov V.A. Investment casting: technical solutions to saving of resources // CIS Iron and Steel Review. 2013. No. 1. P. 6 – 8.
2. Леушин И.О., Леушина Л.И., Кошелев О.С. Инновационная технология изготовления оболочковых керамических форм для производства отливок по удаляемым моделям // Черные металлы. 2018. № 5. С. 25 – 28.
3. Zhao H. Analysis of recycle and composition of molding shell waste in investment casting // Special Casting and Nonferrous Alloys. 2005. Vol. 25. Issue 1. P. 52 – 54.
4. De Boni L.A.B., Criveletto V., Camana M. Laboratory process for the reclaiming of the ceramics mold from the investment casting // Periodico Tchê Quimica. 2013. Vol. 10. Issue 19. P. 19 – 23.
5. Carvalho A.C., Raupp-Pereira F., Rodrigues Neto J.B., Novaes De Oliveira A.P. Industrial waste as alternative raw material for the production of refractory ceramic filters // Ceramica. 2015. Vol. 61. Issue 359. P. 383 – 390.
6. Mahrabi H.A., Jolly M.R., Salonitis K. Methods of reducing materials' waste and saving energy in investment casting // TMS Annual Meeting. 6th International Symposium on Shape Casting – TMS 2016: 145th Annual Meeting and Exhibition; United States. 2016. Vol. 2016. P. 69 – 76.
7. Borisov V.A., Varentsov V.V., Zhukov A.A., Pochkarev Yu.A. Regeneration of materials used in ceramic molds manufacturing // Litejnoe Proizvodstvo. 2001. Issue 11. P.18 – 20.
8. Li J., Li Y., Wang L. Study on technology of iron removal during recycling of shell of investment casting // Advanced Materials Research. 2nd International Conference on Chemical, Material and Metallurgical Engineering, ICCMME 2012; Kunming; China. 2013. Vol. 634 – 638. Issue 1. P. 3181 – 3184.
9. Li J., Li Y., Tan S. Experimental study on separation of valuable refractory aggregate from investment casting ceramic shell waste // China Foundry. 2016. Vol. 13. Issue 4. P. 243 – 247.
10. Озеров В.А., Гаранин В.Ф. Литье повышенной точности по разовым моделям. – М.: Высшая школа, 1988. – 87 с.
11. Специальные технологии литейного производства / А.И. Евстигнеев, Е.А. Чернышов, В.В. Петров и др. – М.: Машиностроение, 2012. – 436 с.
12. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. – М.: КДУ, 2007. – 720 с.
13. Васильев Л.Л., Танаева С.А. Теплофизические свойства пористых материалов. – М.: Наука и техника, 1971. – 265 с.
14. Литейные формовочные материалы: Формовочные, стержневые смеси и покрытия / А.Н. Болдин, Н.И. Давыдов, С.С. Жуковский и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 507 с.
15. Формовочные материалы и технология литейной формы / С.С. Жуковский, Г.А. Анисович, Н.И. Давыдов и др. – М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
16. Литье по выплавляемым моделям / В.Н. Иванов, С.А. Казеннов, Б.С. Курчман и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.
17. Дубровин В.К., Кулаков Б.А., Карпинский А.В. Термостойкие керамические формы на основе полифракционных материалов // Тр. VII съезда литейщиков России: Сб. тр. – Новосибирск: Изд. Дом «Историческое наследие Сибири», 2005. С. 114 – 118.
18. Чернов Н.М. Перспективные технологические процессы в литье по выплавляемым моделям // Тр. VII съезда литейщиков России: Сб. тр. – Новосибирск: Изд. Дом «Историческое наследие Сибири», 2005. С. 72 – 75.



Рис. 3. Модельный блок отливок «Вилка»

Fig. 3. Modeling block of castings «Fork»



Рис. 4. Отливка «Вилка»

Fig. 4. Casting «Fork»

19. Гагин И.Н., Карпович Ю.Ф. Модифицированное связующее на основе щелочного кремнезоля и алюмосиликатный огнеупорный наполнитель для суспензий литья по выплавляемым моделям // Литейщик России. 2003. № 6. С. 33 – 34.
20. Дьячков В.Н., Парамонов А.М., Никитин К.В., Нуждин Г.С. Совершенствование технологии получения стальных отливок ответственного назначения литьем по выплавляемым моделям с целью повышения их качества // Литейщик России. 2013. № 10. С. 36 – 38.
21. Савельев Ю.Н., Грибанов А.С., Щетинин А.А., Сушко Т.И. Совершенствование метода ЛВМ при изготовлении крупных стальных отливок // Тр. VII съезда литейщиков России: Сб. тр. – Новосибирск: Изд. Дом «Историческое наследие Сибири», 2005. С. 79 – 85.
22. Лесников А.К., Фоломейкин Ю.И., Угачикова Л.В. Повышение эффективности производства в литье по выплавляемым моделям при использовании материала «Экосил-мелур» // Литейщик России. 2005. № 4. С. 43 – 45.
23. Танкелевич Б.Ш., Демидова А.А., Абадаев А.В. Факторы заполнения оболочковых форм из плавленного кварца // Литейное производство. 1979. № 4. С. 17 – 18.
24. Ахметов Г.Ш. Влияние некоторых факторов на качество литья по выплавляемым моделям // Литье по выплавляемым моделям в приборостроении. 1973. Вып. 2. С. 10 – 12.
25. Тимофеев Г.И., Евстигнеев А.И. Использование отработанной смеси при изготовлении форм по выплавляемым моделям // Литейное производство. 1980. № 3. С. 21 – 22.
26. Пат. 2547071 RU. Способ изготовления керамических оболочек для литья по удаляемым моделям / И.О. Леушин, Л.И. Леушина, А.Н. Грачев; заявл. 22.10.2013; опублик. 10.04.2015. Бюл. № 10.

Поступила 12 июля 2018 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. Vol. 61. No. 11, pp. 859–865.

RECYCLING OF SHARDS OF QUARTZ CERAMIC SHELLS FROM INVESTMENT CASTING

L.I. Leushina¹, I.O. Leushin¹, S.V. Plokhov¹, V.B. Deev²

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-11-859-865

¹Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

REFERENCES

²National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS), Moscow, Russia

Abstract. The use of quartz for its low-temperature modification creates additional risks in the manufacture of molds in the part of their reduced crack resistance due to polymorphous transformations and in practice it often leads to cracking and even destruction of individual layers of the shell wall or the mold as a whole. Preliminary calcination of the covering material practiced in many foundries can somewhat reduce the negative consequence of dangerous polymorphic transformations of quartz. But at the same time, smooth heating of the molds to reduce the likelihood of their cracking, which is carried out in the support filler, contributes to an increase in duration of the technological process and in additional energy costs. Among the options for reducing the likelihood of cracking and the destruction of RP during their calcination, the most popular is replacement of pulverized quartz sand, as filler, with dispersed quartz sand of a polyfraction composition, distensillimanite, pulverized aluminosilicate, spherical corundum or fused quartz. However, all of them are quite expensive and do not meet modern challenges and resource saving requirements in foundry and metallurgical industries. In this connection, attention is drawn to the ceramic shards of shells of steel and aluminum investment casting on silica-based models. At present, the shards of spent ceramic shell molds for investment models is not used for recycling. This material is sent to the dump or used as a supporting filler of the flasks when the shells are formed therein. The conducted component chemical and phase analysis of the material has shown that in shards of ceramic shells formed after knocking out steel and aluminum castings from molds, in addition to quartz in the high-temperature phases of tridymite and cristobalite (base), there are up to 5 – 10 % of iron and iron scale and 3 – 5 % of aluminum and its oxides. The use of ceramic shell shards as a covering material excludes the repeated polymorphic quartz transformations during calcination and pouring of shapes that determine the change in volume, density, and change in types of material crystal lattices, which makes it possible to increase the fracture toughness and strength of the shells and to minimize discard of the resulting castings. Residual iron, aluminum and their oxides contribute to improving the processability of the mold. Experimental testing of the proposed recycling option in the conditions of current production has confirmed its effectiveness.

Keywords: ceramic shell mold, investment casting, quartz, tridymite, cristobalite, polymorphic transformation, recycling, resource-saving, ceramic shards.

1. Leushin I.O., L.I. Leushina, A.N. Grachev, Ulyanov V.A. Investment casting: technical solutions to saving of resources. *CIS Iron and Steel Review*. 2013, no. 1, pp. 6–8.
2. Leushin I.O., Leushina L.I., Koshelev O.S. Innovative technology of manufacture of shell ceramic forms for fabrication of castings on removable models. *Chernye metally*. 2018, no. 5, pp. 25–28. (In Russ.).
3. Zhao H. Analysis of recycle and composition of molding shell waste in investment casting. *Special Casting and Nonferrous Alloys*. 2005, vol. 25, Issue 1, pp. 52–54.
4. De Boni, L.A.B., Criveletto V., Camana, M. Laboratory process for the reclaiming of the ceramics mold from the investment casting. *Periodico Tchê Quimica*. 2013, vol. 10, Issue 19, pp. 19–23.
5. Carvalho A.C., Raupp-Pereira F., Rodrigues Neto J.B., Novaes De Oliveira A.P. Industrial waste as alternative raw material for the production of refractory ceramic filters. *Ceramica*. 2015, vol. 61, Issue 359, pp. 383–390.
6. Mahrabi H.A., Jolly M.R., Salonitis K. Methods of reducing materials' waste and saving energy in investment casting. In: *TMS Annual Meeting. 6th International Symposium on Shape Casting – TMS 2016: 145th Annual Meeting and Exhibition; United States*. 2016, vol. 2016, pp. 69–76.
7. Borisov V.A., Varentsov V.V., Zhukov A.A., Pochkarev Yu.A. Regeneration of materials used in ceramic molds manufacturing. *Litejnoe Proizvodstvo*. 2001, Issue 11, pp. 18–20. (In Russ.).
8. Li J., Li Y., Wang L. Study on technology of iron removal during recycling of shell of investment casting. In: *Advanced Materials Research. 2nd International Conference on Chemical, Material and Metallurgical Engineering, ICCMME 2012; Kunming; China*. 2013, vol. 634-638. Issue 1. pp. 3181–3184.
9. Li J., Li Y., Tan S. Experimental study on separation of valuable refractory aggregate from investment casting ceramic shell waste. *China Foundry*. 2016, vol. 13, Issue 4, pp. 243–247.
10. Ozerov V.A., Garanin V.F. *Lit'e povyshennoi tochnosti po razovym modelyam* [Casting of high precision on single models]. Moscow: Vysshaya shkola, 1988, 87 p. (In Russ.).
11. Evstigneev A.I., Chernyshov E.A., Petrov V.V. etc. *Spetsial'nye tekhnologii liteinogo proizvodstva* [Special technologies of foundry production]. Moscow: Mashinostroenie, 2012, 436 p. (In Russ.).
12. Betekhtin A.G. *Kurs mineralogii* [Course of mineralogy]. Moscow: KDU, 2007, 720 p. (In Russ.).

13. Vasil'ev L.L., Tanaeva S.A. *Teplofizicheskie svoystva poristykh materialov* [Thermophysical properties of porous materials]. Moscow: Nauka i tekhnika, 1971, 265 p. (In Russ.).
14. Boldin A.N., Davydov N.I., Zhukovskii S.S. etc. *Liteinye formovochnye materialy: Formovochnye, sterzhnevye smesi i pokrytiya* [Foundry molding materials: Molding, core mixtures and coatings]. Moscow: Mashinostroenie, 2006, 507 p. (In Russ.).
15. Zhukovskii S.S., Anisovich G.A., Davydov N.I. etc. *Formovochnye materialy i tekhnologiya liteinoi formy* [Molding materials and technology of the mold]. Moscow: Mashinostroenie, 1993, 432 p. (In Russ.).
16. Ivanov V.N., Kazennov S.A., Kurchman B.S. etc. *Lit'e po vyplavlyayemykh modelyakh* [Investment casting]. Moscow: Mashinostroenie, 1984, 408 p. (In Russ.).
17. Dubrovin V.K., Kulakov B.A., Karpinskii A.V. Heat-resistant ceramic molds based on polyfraction materials. In: *Trudy sed'mogo S"ezda liteishchikov Rossii: sb. tr.* [Proceedings of the 7th Congress of Foundry Workers of Russia: Coll. of sci. papers]. Novosibirsk: ID "Istoricheskoe nasledie Sibiri", 2005, pp. 114–118. (In Russ.).
18. Chernov N.M. Perspective technological processes in investment casting. In: *Trudy sed'mogo S"ezda liteishchikov Rossii: sb. tr.* [Proceedings of the 7th Congress of Foundry Workers of Russia: Coll. of sci. papers]. Novosibirsk: ID "Istoricheskoe nasledie Sibiri", 2005, pp. 72–75. (In Russ.).
19. Gagin I.N., Karpovich Yu.F. Modified alkaline silica-based binder and aluminosilicate refractory filler for investment casting suspensions. *Liteishchik Rossii*. 2003, no. 6. pp. 33–34. (In Russ.).
20. D'yachkov V.N., Paramonov A.M., Nikitin K.V., Nuzhdin G.S. Perfecting the obtaining technology of castings of critical importance by investment casting for their quality improvement. *Liteishchik Rossii*. 2013, no. 10, pp. 36–38. (In Russ.).
21. Savel'ev Yu.N., Gribanov A.S., Shchetinin A.A., Sushko T.I. Perfection of the casting method for investment models in the manufacture of large steel castings. In: *Trudy sed'mogo S"ezda liteishchikov Rossii: sb. tr.* [Proceedings of the 7th Congress of Foundry Workers of Russia: Coll. of sci. papers]. Novosibirsk: ID "Istoricheskoe nasledie Sibiri", 2005, pp. 79–85. (In Russ.).
22. Lesnikov A.K., Folomeikin Yu.I., Ugadchikova L.V. Increasing the efficiency of production in investment casting using the material "Ecosil-melur". *Liteishchik Rossii*. 2005, no. 4, pp. 43–45. (In Russ.).
23. Tankelevich B.Sh., Demidova A.A., Abadaev A.V. Factors of fillability of shell molds from fused quartz. *Liteinoe proizvodstvo*. 1979, no. 4, pp. 17–18. (In Russ.).
24. Akhmetov G.Sh. Influence of some factors on the quality of investment casting. *Lit'e po vyplavlyayemykh modelyakh v priborostroenii*. 1973, Issue 2, pp. 10–12. (In Russ.).
25. Timofeev G.I., Evstigneev A.I. The use of spent mixture in the manufacture of molds for investment models. *Liteinoe proizvodstvo*. 1980, no. 3, pp. 21–22. (In Russ.).
26. Leushin I.O., Leushina L.I., Grachev A.N. *Sposob izgotovleniya keramicheskikh obolochek dlya lit'ya po udalyayemykh modelyakh* [The method of manufacturing ceramic shells for casting on removable models]. Patent RF no. 2547071. MPK B22 C9/04. *Bulleten' izobretenii*. 2015, no. 10. (In Russ.).

Information about the authors:

L.I. Leushina, *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Metallurgical Technology and Equipment"*

I.O. Leushin, *Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair "Metallurgical Technology and Equipment"* (igo1eu@yandex.ru)

S.V. Plokhov, *Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair "Nanotechnology and Biotechnology"*

V.B. Deev, *Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair "Foundry Technology and Art Processing of Materials"* (deev.vb@mail.ru)

Received July 12, 2018