

Д. т. н. **Б. Л. Красный** (✉), к. т. н. **В. А. Черников**

ЗАО «Научно-технический центр «Бакор», Москва, г. Щербинка, Россия

УДК 666.3.032

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕГО ЛИТЬЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОПОРИСТОЙ ПРОНИЦАЕМОЙ ТОНКОСТЕННОЙ КЕРАМИКИ

Проведен сравнительный анализ некоторых видов керамических изделий и технологических процессов их производства, позволяющих обеспечивать определенный уровень физико-механических свойств. Рассмотрены некоторые особенности и возможности горячего литья высокопористых и высокопрочных керамических тонкостенных изделий сложной конфигурации. Приведены результаты экспериментов и исследований керамических образцов, изготовленных методом горячего литья. Показаны закономерности изменения прочностных свойств и открытой пористости керамики от ряда технологических параметров производства.

Ключевые слова: горячее литье, пористая керамика, термопластичные шликеры, физико-механические свойства керамики.

В последние годы все больше расширяется номенклатура технической керамики для нужд как традиционной, так и оборонной промышленности, в том числе для аэрокосмической техники с колоссальными нагрузками по температурным параметрам и давлению. Этим вызвано резкое ужесточение требований к качеству керамики и уровню показателей ее физико-механических свойств.

Области применения и условия эксплуатации изделий диктуют строго определенные требования к керамике, выполнить которые можно, используя тот или иной технологический процесс производства. При этом следует учитывать, что выбранная технология должна обеспечивать не только заданный уровень показателей физико-механических свойств керамики, но и чистоту поверхности, а также геометрические параметры изделия, которое может иметь достаточно сложную конструкцию с различными внутренними полостями, уклонами и, наконец, габаритными размерами до нескольких метров.

Если сравнивать свойства (например, по уровню открытой пористости) керамики, изготовленной с применением различных технологических процессов из сопоставимых шихтовых материалов (имея в виду фракционный состав с определенного рода добавками) с температурно-временными параметрами обработки изделий, то каждому из основных процессов производства керамики можно дать сравнительную оценку.

Технологический процесс изостатического прессования позволяет изготавливать относительно простые по геометрии изделия, в основном в форме тел вращения, способные обладать высокой огнеупорностью и прочностью, но незначительной открытой пористостью, как правило, в интервале

17–23 % в зависимости от давления прессования и ряда других технологических параметров производства. Не всегда такие керамические изделия характеризуются достаточно высокой термостойкостью.

Сухое прессование, вибропрессование и аналогичные процессы по уровню свойств изготовленной этими методами керамики подобны изостатическому прессованию, но с большей величиной открытой пористости изделий (30–38 %). Все указанные процессы имеют существенные недостатки, связанные с ограниченными возможностями технологического оборудования для производства крупногабаритных изделий.

Вибролитье керамики, в отличие от вышеуказанных технологических процессов, позволяет изготавливать сложные по геометрии крупногабаритные керамические изделия с габаритными размерами 1500 мм и более. Такие изделия отличаются высокой огнеупорностью, прочностью, но имеют незначительный интервал открытой пористости в пределах 20–26 % [1–5].

Особое место в производстве керамических изделий занимает метод горячего литья. Термин «горячее литье» появился после разработки процесса литья керамики под давлением. До этого пользовались способами литья термопластичных шликеров методом непрерывного литья, сливного литья, в кокиль, намораживанием и др. [6]. Если же речь идет о литье под давлением, то название «горячее литье» не совсем корректно, так как оно не отражает физической сущности самого процесса. Правильнее было бы называть этот способ производства «прессованием термопластичных шликеров». По сути, это и есть процесс прессования, при котором внутреннюю полость металлической формы под давлением заполняют термопластичным шликером, состоящим из смеси порошков определенного фракционного состава и термопластичной связки на основе парафина с различными добавками.

В качестве добавок используют полиэтилен для придания прочности сырцу; пчелиный воск и различные кислоты (олеиновую, стеариновую и



Б. Л. Красный
E-mail: ikonnikova@ntcbakor.ru

др.) для повышения жидкотекучести шликера и улучшения заполняемости внутренней полости формы, особенно в тонких и протяженных сечениях размером ≤ 1 мм, прежде всего за счет расширения температурного интервала кристаллизации органических материалов; ряд других материалов.

В связи с тем что в литературе используется и на производстве до сих пор широко применяется термин «горячее литье» для прессования термопластичных шликеров под давлением, остановимся на нем. Данный метод в отдельных случаях остается незаменимым технологическим процессом производства керамических изделий сложной геометрии с внутренними полостями, с высокими чистотой поверхности и точностью размеров, с минимальными допусками, в отдельных случаях не требующих механической обработки [7].

Изделия, изготовленные способом горячего литья, обладают высокими показателями огнеупорности, прочности и термостойкости, довольно широким интервалом открытой пористости в зависимости от концентрации термопластичной связки в шликере, а также целого ряда технологических параметров их изготовления.

На этапе производства полуфабриката основными показателями формирования структуры керамики и, как следствие, уровня ее физико-механических свойств являются концентрация термопластичной связки в шликере и давление его прессования. Как показали проведенные эксперименты и исследования, первый показатель обладает более широкими возможностями управления величиной пористости изделий в интервале 12–65 %, давлением прессования можно регулировать пористость керамики в диапазоне 25–50 % при постоянстве состава шликера и параметров температурно-временной обработки изделий (рис. 1).

Следует отметить, что вышеуказанные факторы позволяют увеличивать пористость структуры керамики (≥ 70 %). Однако в данном случае необходимо учитывать снижение показателей прочностных свойств керамики, что становится особенно заметным при ее пористости свыше 40 % (рис. 2). Термостойкость, наоборот, возрастает, и изделия становятся способными выдерживать большее количество теплосмен при нагреве до 1300 °C с резким охлаждением в воде.

Компенсировать потери прочности представляется возможным, изменяя температурно-временные параметры обжига керамики, которые в конечном итоге и определяют уровень показателей физико-механических свойств готового изделия. Отличительная особенность метода горячего литья керамики — проведение двойной температурно-временной обработки изделий в зависимости от уровня требуемых показателей их свойств и условий эксплуатации.

Предварительный обжиг, как правило, ведут при сравнительно низких температурах в интер-

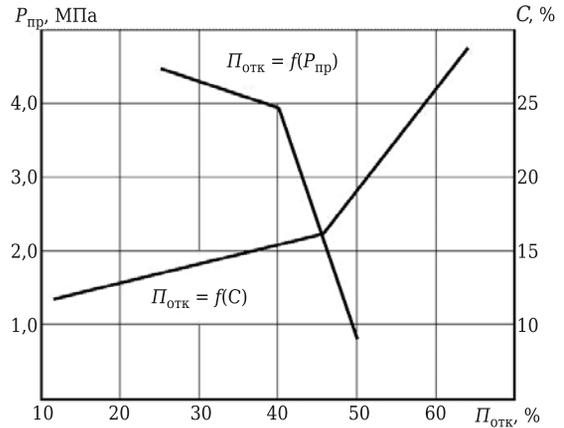


Рис. 1. Зависимость открытой пористости $P_{отк}$ керамики от давления прессования $P_{пр}$ и концентрации термопластичной связки в шликере C при $T_{обж} = \text{const}$

вале 1000–1350 °C. Этот этап технологического процесса связан с рядом физических процессов: до 150 °C происходит нагрев связки и ее расплавление, в интервале 150–350 °C органика мигрирует в адсорбент и начинает выгорать. В разных зонах одного изделия в зависимости от толщины его сечений и габаритов может параллельно протекать несколько процессов, обусловленных неравномерным прогревом изделия по объему. Это вызывает, с одной стороны, расширение изделия в отдельных зонах, а с другой — усадочные процессы. Такое положение приводит к образованию одновременно растягивающих и сжимающих напряжений и, как следствие, появлению различного рода дефектов: короблению, трещинам, усадочным раковинам и др. Для того чтобы обеспечить высокое качество изделий, предварительный обжиг проводят с минимальными скоростями подъема температуры и временными выдержками в отдельных температурных зонах.

При 400–500 °C связка окончательно выгорает, свыше 900 °C начинаются процессы спекания керамики. На этапе предварительного обжига формируются ее прочностные характеристики,

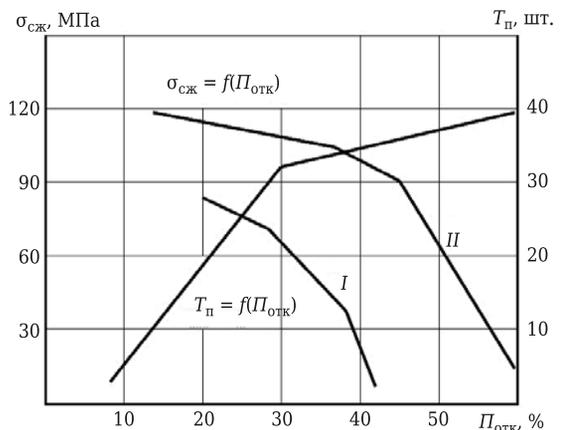


Рис. 2. Зависимость предела прочности керамики при сжатии $\sigma_{сж}$ (I и II) и термостойкости $T_{п}$ от открытой пористости $P_{отк}$ при $T_{обж} = \text{const}$; $\sigma_{сж} = f(P_{отк})$ при $T_{обж} = 1250$ °C (I) и 1450 °C (II)

достаточные для выгрузки изделий из коробов с адсорбентом, их транспортировки и эксплуатации с незначительными внешними нагрузками. При этом структура керамики характеризуется максимально возможными значениями пористости, что требуется для изделий определенной номенклатуры например для фильтрационной керамики.

Вторичный, или окончательный, обжиг изделий проводят в зависимости от того, керамику с какими свойствами нужно получить. Изделия обжигают при температуре 1600 °С и выше без установки в короба с адсорбентом при максимально возможных скоростях подъема температуры в печи с целью сокращения производственного цикла и затрат на энергоресурсы. На этом этапе заканчиваются процессы спекания керамики. Введение спекающих добавок позволяет получить керамику, обладающую максимальной прочностью при комнатной температуре с минимальной, практически приближающейся к нулевой отметке величиной пористости структуры.

В ходе проведенных экспериментов и исследований было установлено, что временные параметры оказывают заметное влияние на пористость керамики лишь в первые 10 ч обжига, в то время как, изменяя температурные параметры, можно влиять на величину пористости во всем интервале и получать довольно плотную структуру изделий пористостью 1–2 % (рис. 3). Как следствие, прочностные характеристики керамики в этом случае заметно возрастают.

Свести величину открытой пористости к нулю можно также за счет применения различных технологических приемов, например пропитывая керамическое изделие специальными составами или нанося покрытия, в том числе защитные, инертные, износостойкие и др. При этом значительно расширяются области применения керамических изделий, полученных горячим литьем.

Таким образом, проведенные эксперименты и исследования позволили разработать и внедрить в ЗАО «НТЦ «Бакор» ряд современных технологических процессов, обеспечивающих конкурентоспособность продукции на мировом рынке за счет изготовления высококачественной керамики с минимальными затратами сырьевых и энергетических ресурсов.

В настоящее время на предприятии ЗАО «НТЦ «Бакор» методом горячего литья изготавливаются

Библиографический список

1. Беркман, А. С. Пористая проницаемая керамика / А. С. Беркман, И. Г. Мельникова ; 2-е изд. — М. : Стройиздат, 1969. — 135 с.
2. Полубояринов, Д. Н. Керамика из высокоогнеупорных окислов / Д. Н. Полубояринов, Р. Я. Попильский [и др.]. — М. : Металлургия, 1977. — 304 с.
3. Стрелов, К. К. Структура и свойства огнеупоров / К. К. Стрелов. — М. : Металлургия, 1982. — 208 с.
4. Гузман, И. Я. Химическая технология керамики / И. Я. Гузман. — М. : ООО РИФ «Стройматериалы», 2003. — 496 с.

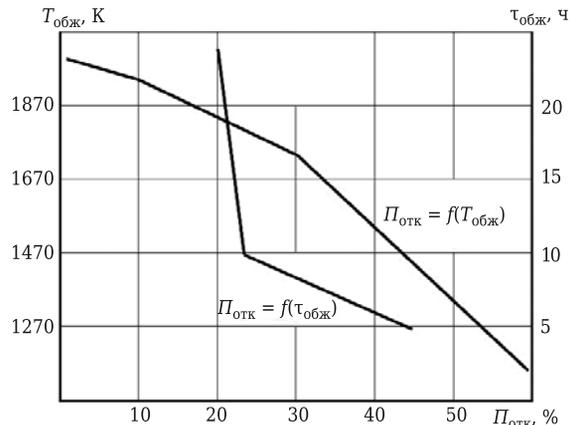


Рис. 3. Зависимость открытой пористости $P_{отк}$ керамики от температуры $T_{обж}$ и времени обжига $\tau_{обж}$ при постоянстве зернового состава шликера, концентрации термопластичной связки и режимов прессования изделий



Рис. 4. Керамические изделия ЗАО «НТЦ «Бакор», производимые методом горячего литья

керамические изделия для самых разных областей промышленности. Производятся тонкостенные фильтры для очистки газов, воды, различных жидкостей; керамические изделия для работы в контакте с агрессивными средами, при высоких температурах (1800 °С и выше) в металлургической, электротехнической, газовой и целом ряде других отраслей (рис. 4) с широкими интервалами показателей физико-механических свойств: с пределом прочности при сжатии до 200 МПа, открытой пористостью практически от нулевой до 65 % и выше, плотностью структуры в интервале от 1,2 до 3,5 г/см³. Уровень показателей прежде всего определяется условиями эксплуатации изделий с учетом агрессивности среды, внешних нагрузок, температурных параметров и др.

5. Балкевич, В. Л. Техническая керамика / В. Л. Балкевич. — М. : Стройиздат, 1984. — 256 с.
6. Добровольский, А. Г. Шликерное литье / А. Г. Добровольский ; 2-е изд. — М. : Металлургия, 1977. — 240 с.
7. Грибовский, П. О. Горячее литье керамических изделий / П. О. Грибовский. — М. : Госэнергоиздат, 1961. — 395 с. ■

Получено 18.05.15
© Б. Л. Красный, В. А. Черников, 2015 г.