

ВВЕДЕНИЕ

Особое место в производстве теплоизоляционных материалов занимают изделия для устройства тепловой изоляции энергетического оборудования с температурой изолируемой поверхности более 1000 °С. Эффективность применения жаростойких теплоизоляционных материалов основывается на двух основных факторах: повышении эксплуатационных показателей работы тепловых агрегатов и сроке службы самих теплоизоляционных материалов. При обеспечении хорошей теплоизоляции степень экономической эффективности промышленного оборудования достигает 95...97 %.

В монографии рассматриваются вопросы создания теплоизоляционных жаростойких материалов, наиболее широко применяемых в Европе (и в России особенно) при строительстве тепловых и энергетических установок, перехода на единую базовую технологию при производстве кварцевых, алюмосиликатных изделий (шамотных и бесшамотных легковесов) и высокоглиноземистых (дистенсиллиманитовых) легковесов. Из многообразия высокотемпературостойкой керамики выбраны наиболее типичные виды, на примере которых можно проиллюстрировать особенности технологических процессов теплоизоляционных жаростойких изделий.

Целью проведенных исследований являлась разработка научно обоснованных принципов энергосберегающей технологии высокотемпературной теплоизоляции с повышенными физико-техническими свойствами. Для достижения поставленной цели исследованы и использованы возможности метода самоуплотняющихся масс, в основе которого лежит целый комплекс явлений.

Производство жаростойких поризованных материалов характеризуется чрезвычайным разнообразием технологических схем и приемов. Только для получения пористой структуры используется более полутора десятков способов. Ряд принятых схем, реализуемых, как правило, на небольших заводах и в цехах, далек от совершенства, а получаемый материал имеет низкие технико-экономические показатели. По мере роста объемов производства и расширения номенклатуры изделий в последние 10...15 лет усовершенствованы отдельные технологические элементы и переделы. Однако лишь немногие из них заметно улучшили структуру материала и его свойства, повысили экономические пока-

затели производства. Кроме того, темп реализации таких разработок в промышленности невысок. Промышленность выпускает легковесы по литьевой технологии в индивидуальных металлических формах. Производство крупных блоков и фасонных изделий практически не осуществляется из-за большого брака уже в процессе сушки.

Сопоставление технологического цикла производства, качества изделий, производительности труда отдельных предприятий страны между собой и средних данных по стране с зарубежными показывает значительные резервы, которыми располагает промышленность поризованных жаростойких материалов. На отдельных заводах длительность цикла сушки составляет 3...10 суток, расход дорогостоящего огнеупорного сырья на 70 % превосходит технически допустимые пределы.

Исследования, проведенные в МГСУ, показали, что переход от традиционных технологий к методу самоуплотняющихся масс позволяет резко сократить сроки сушки сырца с нескольких суток до нескольких часов, повысить прочность изделий, упразднить посты обрезки и шлифовки изделий. К тому же, повышая технико-экономические показатели до передового уровня, метод самоуплотнения решает еще одну важнейшую задачу — создание высокотемпературной безобжиговой изоляции. В сложившейся рыночной ситуации исключение процессов длительной сушки сырца и высокотемпературного обжига до начала эксплуатации изделий дает возможность сократить технико-энергетические затраты на их производство. Необходимо перейти к дифференцированному технологическому подходу при изготовлении изделий в зависимости от области его применения.

В монографии также рассматриваются теоретические и технологические аспекты создания легковесной жаростойкой теплоизоляции нового поколения.

Научно-технической концепцией монографии являются теоретическое обоснование и практическая реализация высокотемпературной теплоизоляции нового поколения малоэнергоемкими методами, обеспечивающими высокое качество изделий с одновременной интенсификацией процессов и снижением энергетических затрат. Для решения поставленной научно-технической концепции выдвинута следующая научная гипотеза: создание высокотемпературной теплоизоляции нового поколения возможно путем применения энергии самоуплотняющихся масс, позволяющей синтезировать новый класс материалов в электротермосиловом поле.

Способ, предложенный МГСУ, заключается в комплексном использовании способности гранул полистирола вспениваться в формовочной массе в условиях тепловой обработки. Этот способ получил название «способ самоуплотняющихся масс». Он направлен на удаление из масс избыточной формовочной влаги, повышение плотности минеральной матрицы, модификацию ее микроструктуры. Метод позволяет регулировать свойства изделий в процессе изготовления и при значительном сокращении времени сушки получать материал с повышенными физико-техническими свойствами.

В результате анализа различных способов тепловой обработки масс предпочтение было отдано электропрогреву, который позволяет обеспечить равномерный прогрев литой системы по объему и создает благоприятные условия для отжатия влаги, уплотнения минеральной матрицы, создания оптимальной структуры.

Имеющийся опыт дает возможность предположить, что распространение данного способа на создание новых модификаций легковесов позволит получить изделия с высокими техническими свойствами. Но для успешной разработки параметров технологий новых материалов необходимо решить комплекс вопросов, связанных с процессами формирования структуры, тепло- и массообмена при тепловой обработке масс, а также изучить особенности электропрогрева самоуплотняющейся массы в условиях постоянно изменяющейся ее влажности.

Раздел 1. СОЗДАНИЕ БЕЗОБЖИГОВОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НАПРАВЛЕННЫМ СИНТЕЗОМ НОВООБРАЗОВАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОГИДРОТЕРМОСИЛОВОЙ ОБРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

Глава 1. Безобжиговые шамотные легковесы; предпосылки для их получения

1.1. Анализ современного состояния производства и применения шамотных легковесов

В связи с изменением общей энергетической политики в России — переходом от энергозатратного принципа развития экономики к энергосберегающему, заключающемуся в учете и управлении топливоэнергоемкостью общественного производства, — первостепенное значение приобретает проблема энергосбережения.

Применительно к производству изделий с высокотемпературной теплоизоляцией одной из важнейших задач становится разработка технологий безобжиговых материалов. В сложившейся рыночной ситуации исключение предварительного высокотемпературного обжига и длительной сушки до начала эксплуатации сырья дает возможность значительно сократить топливно-энергетические затраты производства.

В качестве объекта проводимых автором исследований был выбран шамотный легковес — самый массовый и универсальный материал, широко применяемый в печестроении и других строительных областях.

Было выявлено, что при производстве шамотного легковеса используются трудоемкие, энергоемкие технологии, в большинстве случаев далекие от оптимальных. Эти технологии в значительной мере связаны с применением пенометода в качестве преобладающего технологического процесса. Разработок по совершенствованию производства и получению наиболее простого и перспективного способа выгорающих добавок до сих пор недостаточно, что связано со сложившимся мнением о невозможности получения таким способом изделий пористостью выше 65 %. Традиционное теоретическое воззрение на сушку высокопористых масс как на процесс удаления воды затворения только испарением привело к применению весьма продолжительного цикла сушки (2...5 суток).

В МГСУ разработан иной подход к решению этой проблемы, основанный на гипотезе интенсивного удаления избыточной влаги не испарением, а принудительным отжатием путем теплосилового воздействия на подвижные системы, заключенные в жесткий перфорированный объем [1].

При комплексном воздействии жидкостекольного вяжущего и гидротеплосилового поля на алюмосиликатные стекла шамота формуемых масс образуются тонкие слои клеевых контактов и осуществляется направленный активный синтез кристаллогидратов, которые при нагревании переходят в безводные образования без существенного изменения объема твердой фазы и потери прочности. Опыт использования жидкостекольного вяжущего и анализ особенностей процесса гидратации на начальной стадии структурообразования системы в условиях теплосилового воздействия и повышенного водосодержания позволяет предположить, что процесс начального самоуплотнения масс совпадает с процессом образования различных гидросиликатов и гидроалюмосиликатов натрия, а также геля кремниевой кислоты. При этом растворение дисперсной фазы и образование микроскопических зародышей кристаллизации преобладает над процессом образования коагуляционных структур, протекание которого осложнено активным массопереносом. По мере уплотнения структуры отжатие влаги постепенно прекращается и во время дальнейшей досушки сырца в нем начинается интенсивный рост кристаллических новообразований по всему объему: как на поверхности шамотных частиц, так и внутри. Таким образом, теплосиловое воздействие на твердеющую материальную матрицу направлено как на механическое удаление через жидкую фазу формовочной влаги, так и на модифицирование механизма гидратации и получение прочной межпоровой перегородки.

Но создать безобжиговый шамотный легковес лишь посредством самоуплотнения невозможно; для этого необходимо ввести в шамотные массы химически активный компонент, который будет катализатором и электролитом, обеспечивающим в теле легковеса в периоды сушки и эксплуатации активный синтез высокотемпературных новообразований.

В этом случае к вяжущим композициям предъявляются следующие основные требования: во-первых, они должны обеспечить достаточно высокую прочность сырца до воздействия на него высоких (рабочих)

температур, т.е. после сушки сырца, и, во вторых, после первого обжига без существенных усадочных деформаций — еще больше повысить прочность легковеса за счет возникновения высокоогнеупорных образований. Вышеизложенное свидетельствует о том, что разработка рациональной технологии безобжигового шамотного легковеса, обладающего высокими термомеханическими свойствами, является актуальной задачей промышленности теплоизоляционных материалов.

В настоящее время наиболее массовым и универсальным высокотемпературным теплоизоляционным материалом, широко применяемым в печестроении и других строительных производствах, является шамотный легковес. Шамотные легковесы разных марок сейчас производятся на пяти отечественных заводах огнеупорных изделий.

Шамотные легковесы пригодны для теплоизоляции любых горячих поверхностей. Они успешно применяются в футеровке электропечей, в сводах и стенах, в топках паровых котлов, в печах всех конструкций (периодических, газокамерных, кольцевых, туннельных), предназначенных для обжига керамической и огнеупорной продукции [2; 3].

Средняя плотность шамотных огнеупорных легковесов, выпускаемых отечественной промышленностью, составляет $1,3...0,4 \text{ г/см}^3$, свойства и предельная температура их эксплуатации регламентируются ГОСТ 5040-78 (табл. 1.1).

Свойства шамотных легковесов обуславливаются в основном их высокопористой структурой.

Существуют разные способы придания материалу пористости, из них наиболее часто применяются следующие [4...9]:

- Способ выгорающих добавок.
- «Газовые» способы, при которых в формовочной суспензии образуются многочисленные мелкие газовые пузырьки путем:
 - вспенивания шликера, введением в него пенообразователя или отдельно подготовленной пены (изделия называют пеношамотными);
 - вспучивания шликера в результате химических реакций между вводимыми в него добавками.

Однако эти способы не являются равноценными. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Выбор метода порообразования зависит, в основном, от требуемой пористости и заданной структуры изделий.

Показатели шамотных легковесов

Свойства легковесов	Марка легковеса						
	ША	ШБ	ШБ	ШБ	ШБ	ШБ	ШБ
Средняя плотность, г/см ³ , не более	1,3	1,3	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4
Огнеупорность, °С, не менее	1730	1670	1670	1670	1670	1670	1670
Дополнительная усадка (знаменатель), %, при температуре (числитель), °С, не более	$\frac{1400}{1}$	$\frac{1350}{1}$	$\frac{1350}{1}$	$\frac{1300}{1}$	$\frac{1250}{1}$	$\frac{1200}{1}$	$\frac{1150}{1}$
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	4,5	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	1,0
Коэффициент теплопроводности при 600 °С на горячей стороне, Вт/(м·°С), не более	0,7	0,7	0,6	0,46	0,46	0,3	0,23
Температура эксплуатации, °С, не выше	1400	1300	1300	1270	1250	1200	1150

Примечание. ША — шамот класса А; ШБ — шамот класса Б.

Химический способ был впервые применен в СССР в 1936...1940 гг. при получении шамотного легковеса из многошамотных масс [9]. Сущность химического способа состоит в следующем: газ, выделяющийся в результате химических реакций между шликером и специально введенными добавками, распределяется в массе и вспучивает ее. Для укрепления полученной по этому способу ячеистой структуры в керамическую массу обязательно добавляют стабилизаторы (гипс, быстросхватывающийся цемент и другие), в противном случае масса снова осажается вследствие разрушения слабых стенок пор. В качестве вспучивающихся добавок применяют алюминиевую пудру в сочетании с кислотами или щелочами, карбонаты с кислотами. В массу вводят также добавки, разлагающиеся при нагревании с выделением газа, например, перекись водорода [4; 8; 10...18].

Достоинствами этого метода являются возможность получения изделий с равномерной пористой структурой, а также применение относительно грубозернистых материалов.

Но химический способ получения шамотных легковесов до настоящего времени не имеет промышленного применения из-за ряда присущих ему недостатков:

- высокая скорость (спонтанность) химической реакции между газообразователями, сокращающая время приготовления массы и заливки ее в формы;
- применение в технологических операциях кислот, при работе с которыми требуются особые меры предосторожности, а также использование устойчивой к коррозии аппаратуры;
- необходимость для стабилизации структуры вспученной массы добавки гипса, каждый процент которого снижает огнеупорность на 10...15 %;
- высокое содержание газомассы, замедляющей сушку, что отражается на продолжительности производственного цикла. Снижение формовочной влажности газомассы невозможно, так как жесткие малоподвижные смеси не вспучиваются из-за их слишком высокой вязкости.

Для совершенствования технологии легковесных шамотов химическим способом был применен качественно новый в этой области технологический прием — виброформование [18].

Шамотно-глиняные смеси относятся по своим реологическим свойствам к пластично-вязким системам. Применяя вибрационную обработку, можно временно разрушить их структуру. При этом происходит высвобождение воды, связанной ранее с твердыми частицами, т.е. тиксотропное разжижение системы. Жесткие, малоподвижные шамотно-глиняные смеси при этом приобретают текучесть и легко вспучиваются под воздействием выделяющегося внутри них газа, увеличиваясь в объеме в соответствии с заданной величиной средней плотности изделий.

После прекращения вибрационной обработки вспученная ячеистая масса быстро (в течение 2...3 минут) восстанавливает свою первоначальную структурную прочность, т.е. наблюдается быстрое тиксотропное упрочнение системы, что позволяет производить распалубку отформованных изделий сразу же после окончания газовыделения. При этом изделия сохраняют заданную им форму.

Замена отдельных форм поддонами в значительной мере облегчает и ускоряет сушку сырца, так как в 2,4 раза увеличивает поверхность испарения свежееотформованного сырца. В результате длительность сушки сокращается почти в 3 раза. Этому способствует и пониженная формовочная влажность.

Результаты исследований [18] показывают, что при вибрации достигается изменение реологических характеристик шамотно-глиняных смесей до таких величин, при которых появляется возможность вспучивания этих масс при пониженном водосодержании. Так, например, без вибрирования оптимальная для вспучивания влажность массы составляет приблизительно 35...40 %, а при вибрационной обработке создаются условия для вспучивания уже при влажности 24...25 %. Но, несмотря на ряд положительных аспектов, и этот метод не нашел промышленного применения, так как для успешного вспучивания смеси необходимо по времени сочетать вибрационную обработку с периодом интенсивного выделения газа, что осложняет производство.

В России шамотные легковесы изготавливают в основном пенным способом и способом выгорающих добавок, при этом наиболее распространенным является пенный способ.

Производство легковесных и ультралегковесных огнеупоров пенным способом в нашей стране основано на результатах, представленных в работах А.А. Пирогова и М.Н. Гензлера [19...21]. Этот способ позволяет получать различные легковесные материалы с меньшей средней плотностью, чем при изготовлении их способом выгорающих добавок. Именно по пенному способу изготавливают наиболее пористые огнеупорные шамотные материалы — ультралегковесные.

Для создания пор в огнеупорах впервые пену применили в 1929 г. Суть пенометода состоит в следующем: отдельно приготовленную пену смешивают с керамическим шликером. При смешивании твердые частицы шликера адсорбируются и удерживаются на пленках, образующих стенки пор пены. В результате минерализации, т.е. при получении трехфазных пен, устойчивость обычных двухфазных пен резко возрастает.

Производство легковесов этим способом можно разделить на шесть этапов:

- подготовка пены;
- приготовление шликера;

- смешивание пены со шликером;
- формование изделий (разливка пеномассы по формам);
- сушка и обжиг сырца;
- доводка изделий и формы до заданных размеров путем шлифования, упаковка их.

Свойства пены оказывают кардинальное влияние на свойства изделий. Поэтому одной из коренных проблем пенокерамической технологии является получение стойкой и прочной пены, которая не разрушится при смешивании с суспензией и выдержит ее давление.

Физико-химические основы стабилизации пен разрабатывались П.А. Ребиндером и другими исследователями [22]. Пена — это ячеисто-пленочная дисперсная система, образованная множеством пузырьков газа, разделенных тонкими пленками и объединенных (в отличие от обычной концентрированной эмульсии) в общий каркас. Такая система принципиально неустойчива в термодинамическом смысле, так как в ней огромная поверхность жидкости соприкасается с газовой фазой. При этом система, что вполне естественно, стремится сократить до минимума поверхность раздела фаз путем самопроизвольного агрегирования и слияния пузырьков, т.е. имеет место коалесценция.

Наиболее подробно свойства пенообразователей исследованы Н.А. Якуб [23]. Она установила, что стойкость и кратность пен повышаются по мере увеличения концентрации пенообразователя и достигают максимума при насыщении поверхностного слоя. Пены с более мелкими ячейками характеризуются большей стойкостью. С ростом температуры стойкость пен уменьшается.

Установлено также [23], что устойчивость обычных двухфазных пен резко возрастает при их минерализации, т.е. при получении трехфазных пен, свойства, структура и поведение которых с точки зрения получения пористой керамики представляют наибольший интерес.

Многие исследователи, изучавшие трехфазные пены, отмечают их повышенную стабильность по сравнению с двухфазными, что обусловлено наличием твердой фазы: ее характером, природой и крупностью [24].

С целью получения устойчивой пеномассы, сохраняющей пористую структуру, необходимо применение тонкодисперсных порошков. Стойкость минерализованных пен в значительной мере зависит от степени минерализации (от количества вещества дисперсной твердой фазы, по-

крывающего поверхность пузырьков) и от дисперсности твердой фазы [24; 25]. По А.М. Годену [25], стойкость пены тем выше, чем большая доля поверхности пленок покрыта минеральными частицами.

Исследованиями [26] установлена зависимость стойкости пены от степени ее минерализации и дисперсности минерализатора для пенокерамических масс. Трехфазная минерализованная пена при правильной дозировке всех компонентов вообще не должна разрушаться.

Свойства пеномассы определяют качество готового изделия, так как при пеновом методе уже во влажном состоянии создается основа будущей пористой структуры материала, закрепляемая сушкой и обжигом. На технологию и свойства изделий большое влияние оказывает способ получения трехфазной минерализованной пены. При раздельном приготовлении пены и керамического шликера и последующем их смешивании необходимо введение в керамический шликер большого количества воды, чтобы он был текучим и подвижным. В противном случае, при перемешивании с жестким раствором, слабые стенки пор разрушаются, и пеномасса, приобретая неравномерную структуру, будет характеризоваться весьма низкой прочностью. Требуется мягкий режим ее сушки с большей продолжительностью, что удлиняет весь производственный цикл.

Повышенное водосодержание пеномасс приводит к большим усадочным деформациям и к необходимости шлифовки. Процесс занимает много времени, характеризуется большой трудоемкостью и связан со значительными расходами электроэнергии и топлива.

Были проведены опыты [27] по снижению влажности пеномасс путем введения разжижающих добавок, но положительно решить этот вопрос не удалось.

Хорошая равномерная мелкопористая структура керамического шликера получена В.В. Перегудовым [28] с помощью метода воздухововлечения, т.е. при введении пенообразователя непосредственно в шликер с последующим интенсивным перемешиванием его.

На принципе вовлечения воздуха в смеси, содержащие воздухововлекающие добавки, основаны работы И.А. Файна и др. [29]. Разработанный И.А. Файном во ВНИИПИТеплопроекте совмещенный способ, при котором в шихту вводятся воздухововлекающая добавка и перлитовый песок, является более прогрессивным по сравнению с существующим

обычным пенометодом. Поэтому он нашел практическое применение и внедрен на заводах огнеупорных изделий.

В настоящее время этим способом изготавливаются ультралегковесные огнеупоры с кажущейся плотностью $0,4 \text{ г/см}^3$, при этом производительность действующих технологических линий на огнеупорных заводах увеличивается в 2...2,2 раза, сушка ускоряется в 4,2 раза, себестоимость изделий снижается на 27 %.

С помощью вибросмесителя [30] проведена работа по исследованию вибровоздуховлечения в перлитокерамические массы и показано, что этот прием позволяет значительно (на 20...25 %) снизить водосодержание пеномасс и, следовательно, упростить сушку изделий.

Достоинствами работ Ю.В. Лабзиной [31] и И.А. Файна являются, во-первых, совмещение процессов перемешивания и поризации шликера, во-вторых, снижение водосодержания поризуемых масс, в-третьих, улучшение пористой структуры изделий и, как следствие, их физико-механических и теплофизических свойств.

Применение вибрации позволяет не только интенсифицировать процесс воздуховлечения, но и активно влиять на водосодержание масс и повышать устойчивость пен, что выступает весьма важным достоинством технологии керамических пенолегковесов.

Проанализировав информацию по этому вопросу [9; 20; 21; 26...29; 31], можно сделать следующие выводы: пеновый метод дает возможность широкого регулирования пределов пористости (40...85 %); полученные изделия характеризуются повышенной механической прочностью, что является преимуществом метода.

Недостатки пенового метода:

- повышенная энергоемкость производства, обусловленная необходимостью тонкого измельчения исходных материалов;
- высокая влажность формовочных масс и, как следствие, значительная продолжительность сушки;
- усадочные деформации, вызывающие увеличение брака;
- необходимость шлифовки изделий;
- неизбежность содержания большого парка металлических форм;
- невозможность изготовления крупноразмерных и фасонных изделий;
- большая трудоемкость и значительная продолжительность производственного цикла;

- низкая термостойкость и повышенная теплопроводность готовых изделий.

Очевидно, что это очень трудоемкая и энергоемкая технология, при которой повышается себестоимость полученных изделий, характеризующихся к тому же низкими эксплуатационными показателями.

Поэтому специалисты-разработчики должны стремиться к ликвидации отмеченных недостатков. Улучшение качества легковесных огнеупоров является одной из важнейших задач в огнеупорной промышленности.

Наиболее старым и распространенным способом получения теплоизоляционных материалов является способ выгорающих добавок, который весьма технологичен и поэтому получил широкое применение как в России, так и за рубежом [6; 8; 9; 32; 33]. Суть этого метода заключается во введении в керамические массы выгорающих добавок с последующим их выжиганием.

В качестве выгорающих добавок в современной промышленности используют следующие органические материалы: древесные опилки, древесную муку, лигнин, древесный уголь, продукты коксования (кокс, нефтяной кокс), различные виды каменных углей (антрацит, термоантрацит, бурый и битуминозный угли), горючие сланцы, графит, торф, сажу и другие [3; 6; 8; 9; 14; 16; 34...37]. При обжиге органические добавки выгорают, оставляя поры, которыми оказываются пронизаны изделия. Размеры и форма пор зависят от размеров и формы частиц выгорающих добавок.

Особенно широкое применение в качестве органических добавок нашли опилки различных древесных пород. Но использование опилок связано с рядом технологических трудностей. Во-первых, они придают массе значительное упругое последствие, поэтому формование изделий можно производить либо экструзионным способом, либо способом литья. Во-вторых, опилки являются отощителем, и введение их в чрезмерно большом количестве ухудшает формовочные свойства масс (теряется связность). Как показала практика, содержание опилок не должно превышать 25...30 %. Отмеченный недостаток ограничивает возможность получения изделий пористостью свыше 60...65 %. В-третьих, опилки активно впитывают влагу и набухают, что создает трудности при сушке сырца, так как такие массы склонны к неравномерной усадке и короблению. В-четвертых, опилки трудно равномерно распределить в массе материала; размеры

и форма их частиц не позволяют получать равномерно распределенную мелкую пористость. Обычно изделия, полученные выжиганием опилок, характеризуются низкой прочностью [8; 9; 11; 37].

Несколько лучшими выгорающими добавками, с точки зрения получения мелкой пористости изделия и придания ему технологичности, являются лигнин, продукты сухой перегонки опилок, древесная и пробковая мука [38...41].

Использование углистых (твердых) выгорающих добавок позволяет применять метод полусухого прессования, однако образующаяся после выгорания углей зола оказывает вредное влияние на свойства изделий, значительно снижая их огнеупорность.

Одним из важнейших этапов этой технологии является обжиг. Во всех случаях обжиг с целью полного выжигания выгорающей добавки на первой стадии должен осуществляться в окислительной среде. Неполное выгорание добавки является недопустимым, поскольку приводит к получению изделий повышенной плотности, снижению их прочности и образованию трещин, т.е. к браку.

Многие исследования посвящены проблеме выжигания добавки из тела изделия [41...48]. В этих работах показано, что высокое содержание выгорающих добавок и легкая воспламеняемость весьма затрудняют, а иногда и вовсе исключают возможность проведения регулируемого обжига.

Если рассматривать проблему выжигания добавок с точки зрения трудности проведения процесса, то самой легко выгорающей добавкой оказываются древесные опилки. Но, как отмечалось выше, при использовании этой выгорающей добавки возникает опасность коробления изделий при сушке и потери ими механической прочности. При применении лигнина эти недостатки частично исключаются, но из-за малых размеров зерен этой добавки и меньшей газопроницаемости сырца в 1,5...2 раза замедляется процесс выжигания добавки и увеличивается общая продолжительность обжига.

Еще более медленно выгорают углистые добавки [8; 43].

А.В. Шлыков [47] выделил три процесса при обжиге с выгорающими добавками:

- Горение летучих компонентов, выделяемых из органических добавок в результате пиролиза.

- Выгорание в результате взаимодействия добавки с кислородом оксидов, входящих в состав керамического материала (оксидов железа, карбонатов).

- Выгорание углерода из коксового остатка добавки при взаимодействии с кислородом печных газов, диффундирующих внутри обжигаемого материала.

Преобладание того или иного процесса зависит от ряда факторов: состава массы, режима обжига, вида, содержания и granulometрии выгорающей добавки и т. д.

Важнейшими показателями, влияющими на процесс выгорания органических добавок, являются следующие: толщина обжигаемого изделия, его пористость и газопроницаемость, вид, содержание и размер зерен добавки, режим обжига (расстояние между изделиями в садке, избыток воздуха в печных газах, температура).

Большое значение в процессе выжигания, как уже отмечалось, имеет вид выгорающей добавки. При выжигании опилок или лигнина заметные потери массы наблюдаются уже при температуре выше 100 °С, затем процесс резко прогрессирует и при температуре 500 °С добавка полностью выгорает, когда спекание почти всех керамических материалов только начинается. При выжигании углистых добавок, например нефтяного кокса, горение происходит при гораздо более высоких температурах: начало — при 400 °С, активный процесс выгорания — при 700...1000 °С, завершение процесса — при 1200 °С.

Очевидно, что при производстве изделий из легкоплавких глин и даже из шамотных масс использование таких добавок невозможно, так как активное газовыделение протекает совместно с процессом спекания и может привести к трещинообразованию в стенках пор; наличие жидкой фазы будет затруднять, а в ряде случаев прекращать доступ кислорода к отдельным зернам добавки, закрывая поры, в результате чего горение добавки прекратится [9; 48].

Весьма важным свойством добавки, влияющим на процесс ее выжигания, а также на прочность изделий (их пористую структуру), является плотность зерен добавки. Чем больше плотность, тем длительнее процесс выжигания и тем больше должно выделяться газообразных веществ, а следовательно, выше опасность разрыхления материала и снижения его механических свойств.

Метод выгорающих добавок, несмотря на сравнительно простую схему производства, обладает существенными недостатками. При изготовлении теплоизоляционных изделий пластичным способом введение в массу большого количества опилок, необходимого для снижения средней плотности изделий, создает трудности при формовке изделий вследствие малой связности масс.

Возможность получения теплоизоляционных огнеупоров с низкой средней плотностью из масс с выгорающими добавками может быть обеспечена только способом литья. Однако недостатком этого способа (особенно применительно к изделиям крупных размеров) является продолжительная сушка изделий в формах, что удлиняет цикл производства; потребуется также большое количество форм [49].

И.Я. Гузман [9], анализируя метод выгорающих добавок, отметил следующие его недостатки: все материалы (за исключением шамотно-опилочных масс) имеют высокую среднюю плотность, превышающую $1,0 \text{ г/см}^3$; прочность изделий относительно невысокая; они отличаются весьма низкими температурными деформациями под нагрузкой. Изделия такого рода, как правило, имеют крупнопористое строение, высокую газопроницаемость и в большей или меньшей мере загрязнены примесями, вносимыми выгорающими добавками. В обычных легковесных изделиях это не имеет существенного значения, однако при изготовлении пористых материалов специального назначения из чистых оксидов это обстоятельство следует учитывать.

1.2. Выбор способа производства безобжиговых высокотемпературных теплоизоляционных материалов

Как отмечалось выше, на протяжении многих десятилетий ученые пытаются решить актуальную научно-производственную задачу, заключающуюся в разработке современных технологий безобжиговых материалов.

На разных этапах развития исследований предлагались приемы и способы, снижающие исходную влажность масс (вибрация, экструзия, введение химических добавок и т.п.).

Разработанный в МГСУ подход к решению этой проблемы основан на гипотезе интенсивного удаления избыточной влаги не испарением, а принудительным отжатию путем теплосилового воздействия на под-

вижные системы, заключенные в жестком перфорированном объеме. В этом случае определяющим становится не начальное влагосодержание массы, а оставшееся после удаления количество избыточной воды [50...60].

При использовании наиболее технологичного приема — метода выгорающих добавок — традиционные выгорающие добавки (опилки, кокс и другие) не позволяют изготовить изделие с низкой средней плотностью. Исследователи объясняют это явление различными причинами, однако влияние формы зерен выгорающей добавки на качество их поверхности изучено недостаточно. Вместе с тем очевидно, что характер поверхности, форма зерен выгорающей добавки и пористость, а следовательно, и свойства легковесных изделий взаимосвязаны. При использовании традиционных выгорающих добавок поверхность пор оказывается изъязвленной и шероховатой. Вследствие неправильности формы зерен добавки происходит искривление мембран, выпирание частиц массы.

Большие объемы капиллярной пористости при литьевой технологии также приводят к значительному ухудшению свойств изделий, особенно прочностных. Таким образом, результатом низкой прочности легковесных огнеупоров на традиционных выгорающих добавках является их несовершенная микро- и макроструктура. Следовательно, оптимизация структуры легковесных огнеупоров должна происходить с применением новых видов выгорающих добавок, с учетом их удельной поверхности и геометрической формы зерен. Первый фактор определяет расход огнеупорного компонента, необходимый для создания монолитного каркаса, второй — общую пористость системы. Таким условиям может удовлетворить имеющая частицы правильной сферической формы добавка с минимальной поверхностью (шероховатостью).

Получить идеальную поверхность и сферическую форму частиц из традиционных выгорающих материалов — задача нереальная. В качестве специальной эффективной добавки принят вспенивающийся полистирол фракции мельче 0,5 мм (полистирольная пыль), являющийся отсевом при производстве поропластов. Используя эту добавку, можно ликвидировать многие из перечисленных недостатков.

Зерна пенополистирола имеют шаровидную форму и характеризуются широким диапазоном гранулометрии. Согласно теории плотных упаковок, они могут быть уложены с плотностью до 82...87 %, и после

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru