

*Посвящается университетскому товарищу
Виктору Максимовичу Мишину*

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития технологий строительства особенно актуально создание широкой гаммы новых теплоизоляционных материалов общего и специального назначения. При этом необходимость придания большинству из них низкой теплопроводности, достижения повышенной прочности и долговечности ставит со всей остротой вопрос о теоретических и экспериментальных исследованиях технологических путей получения малодефектных структур изделий с использованием энергосберегающих и безотходных приемов.

В настоящей работе рассматривается один из возможных подходов к решению указанных проблем. Сущность его заключается в поиске и реализации концепции перехода изделий в более высокую категорию качества с одновременной интенсификацией всех процессов, снижением материалоемкости и энергетических затрат.

Анализ современных теории и практики получения жаростойкой теплоизоляции показал, во-первых, что традиционное воззрение на процесс удаления излишней воды затворения только испарением привело к применению весьма продолжительного цикла сушки, и, во-вторых, что принятая теория о невозможности получения изделий бесшамотных и с пористостью выше 65 % методом выгорающих добавок несостоятельна. В действительности именно данный метод необходимо совершенствовать как самый технологичный в направлении изыскания новых видов добавок правильной сферической формы, обладающей минимальной поверхностью.

Предложена гипотеза интенсивного удаления излишков влаги из подвижных масс на этапе формования, уплотнения минеральной части смеси, придания ей заданной формы и обеспечения качественной поверхности изделий путем создания избыточного давления от вспенивания минерально-полистирольных масс в жестком перфорированном объеме (самоуплотнение масс).

Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлены технологические пути получения малодефектной структуры изделий энергосберегающими и безотходными приемами.

Таким образом, поиск, с одной стороны, безотходных и менее материалоемких технологий, а с другой — путей интенсификации с целью достижения минимально возможного срока тепловой обработки и снижения топливно-энергетических затрат сегодня весьма актуален.

ГЛАВА 1. НАУЧНАЯ КОНЦЕПЦИЯ. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Уровень производства и области применения высокотемпературной и рядовой теплоизоляции

В настоящее время производители теплоизоляционных огнеупорных материалов основное внимание уделяют не увеличению объема, а совершенствованию структуры выпуска последних, освоению новых высокоэффективных легковесов, например волокнистых, бесшамотных, двухслойных, крупногабаритных, монолитных и т.д.

Несмотря на ускорение темпов прироста объема производства жаростойкой теплоизоляции, промышленность удовлетворяет потребность народного хозяйства в этих материалах лишь на 50 %. Около 90 % объема их производства приходится пока на неиндустриальные, а следовательно малоэффективные изделия. За рубежом наиболее крупными производителями являются США, Япония, ФРГ и Англия.

Строительство — одна из самых материалоемких отраслей народного хозяйства. Затраты на материалы, расходуемые непосредственно на возведение зданий и сооружений, составляют более половины общей стоимости строительно-монтажных работ и около трети капитальных вложений в народное хозяйство России [127, с. 11—14]. Таким образом, применение в строительстве легких бетонов на пористых заполнителях должно возрастать, а их удельный вес в общем объеме бетонных и железобетонных конструкций — увеличиваться. Однако следует отметить, что в общем объеме выпуска легкого бетона доля конструкционно-теплоизоляционного бетона пока составляет лишь около 30 %, а остальная часть — это утеплитель низких марок. Итак, актуальной задачей на сегодняшний день является повышение качества теплоизоляционного бетона.

Легкий бетон как материал широких возможностей наиболее полно отвечает задачам технического прогресса в строительстве. Он имеет большую морозо- и трещиностойкость, меньшую эксплуатационную влажность и ползучесть по сравнению с ячеистыми бетонами [54, с. 40—51], и поэтому превратился в один из основных материалов индустриального строительства.

Основные виды применяющихся в России и за рубежом теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных бетонов, их прочностные и теплоизоляционные характеристики как главные определяющие

факторы приведены в табл. 1.1. Как видно из таблицы, наиболее эффективными являются пенополимербетон и композиционные материалы на основе наполненных пенопластов (пенополиуретан с перлитом и пеностеклом — Венгрия, пенополиуретан с керамзитом или пеностеклом — Германия, полиэфирный пенопласт с керамзитом — Франция). Однако из-за дефицитности сырья и его дороговизны в России доля производства наполненных пенопластов пока невелика. Из существующих легких теплоизоляционных бетонов наиболее эффективными являются перлитобетон на латексе и пенополистиролбетон (стиропорбетон). Последний, к тому же, наиболее доступен и дешев.

Коэффициент вспенивания исходного продукта суспензионного бисерного полистирола очень высок ($K_{всп} = 30—50$), что создает предпосылки для экономического обоснования возможности доставки бисера в любую точку страны и позволяет с успехом организовывать производство стиропорбетонных изделий в малоосвоенных и труднодоступных районах, не имеющих развитых строительных баз. Кроме того, низкая теплопроводность гранул полистирола ($\lambda = 0,029 — 0,046$ Вт/м^{°К}) и ее постоянство при изменении влажности среды за счет незначительного водопоглощения (0,5–3,0 %) обуславливают эффективность применения пенополистирола в качестве заполнителя в легком бетоне. Однако технологические трудности получения однородных изделий и невысокая прочность (соответственно 0,6–1,1 МПа для средней плотности 300—400 кг/м³) замедляют темпы роста производства этого перспективного материала.

1.2. Принятые технологические схемы изготовления и резервы их совершенствования

Существует множество технологических приемов формирования пористой структуры жаростойкой керамики, однако на специализированных предприятиях России, производящих легковесы, используют только пенометод (75 %), комбинированный метод (5 %), способ выгорающих добавок (6 %) и метод создания волокнистого каркаса (14 %). Изделия выпускают со средней плотностью 400—1300 кг/м³, значительную часть которых (80 %) составляют шамотные легковесы.

В последние десятилетия по мере развития объемов производства и расширения номенклатуры изделий усовершенствованы отдельные технологические переделы и линии. Однако лишь немногие из них заметно улучшили свойства материала и повысили экономические показатели производства. До сих пор около 85 % легковесов изготавливают

по литевой технологии в индивидуальных металлических формах на один кирпич. Менее 8 % изделий формуют в виде блоков на два-три кирпича. При этом технологический цикл исчисляется несколькими сутками и характеризуется большими отходами (до 60 %) от обрезки и шлифовки изделий.

Таблица 1.1

Основные характеристики теплоизоляционных, теплоизоляционно-конструкционных бетонов и наполненных пенопластов

Материалы (свойства)	Средняя плотность							
	250	300	350	400	450	500	600	700
Перлитобетон на латексе	<u>1,0; –</u> 0,093	–	–	–	–	–	–	–
Перлитобетон на жидком стекле	–	<u>0,7; –</u> 0,093	–	<u>0,85; –</u> 0,110	–	<u>1,0; –</u> 0,128	–	–
Перлитобетон на цементе, гипсе, силикатном и магнезиальном вяжущем	<u>0,3; 0,22</u> 0,069	<u>0,45; 0,24</u> 0,075	<u>0,6; 0,26</u> 0,081	<u>1,0; 0,3</u> 0,093	–	<u>1,5; 0,3</u> 0,116	<u>2,5; 0,4</u> 0,139	<u>3,5; 0,5</u> 0,151
Перлитобитумный бетон	<u>–; 0,15</u> 0,075	<u>0,25; 0,15</u> 0,087	<u>0,30; 0,15</u> 0,099	<u>0,35; 0,2</u> 0,110	<u>0,40; 0,20</u> 0,122	–	–	–
Перлитофосфогелиевый бетон	<u>–; 0,30</u> 0,075	<u>–; 0,35</u> 0,081	–	–	–	–	–	–
Вермикулитобетон на минеральном и органическом вяжущем с асбестом	<u>–; 0,18</u> 0,087	<u>–; 0,23</u> 0,093	<u>–; 0,23</u> 0,095	<u>0,4; 0,3</u> 0,104	–	<u>0,5; 0,6</u> 0,128	–	–
Керамзитобетон крупнопористый на гипсе или цементе	–	–	–	0,5; – 0,139	–	<u>0,8; –</u> 0,151	<u>1,0; –</u> 0,174	–
Керамзитобетон плотный на гипсе или цементе	–	–	–	–	–	–	<u>1,5; –</u> 0,162	<u>2,5; –</u> 0,174
Гипсоцементный бетон на цементе и вспененном гипсе	–	–	–	–	–	<u>0,8; –</u> 0,128	<u>1,0; –</u> 0,151	<u>1,5; –</u> 0,174

Материалы (свойства)	Средняя плотность	Материалы (свойства)	Средняя плотность	Материалы (свойства)	Средняя плотность	Материалы (свойства)	Средняя плотность	Материалы (свойства)
Пеногазогипсбетон	–	–	–	–	–	0,4; – 0,128	1,0; – 0,139	–
Полистиролбетон на цементе и пенополистироле	<u>0,3; –</u> 0,069	<u>0,6; –</u> 0,081	–	<u>1,1; –</u> 0,104	–	<u>1,6; –</u> 0,139	2,5; – 0,162	<u>3,7; –</u> 0,185
Мипорбетон	–	<u>0,5; –</u> 0,128	–	<u>1,0; –</u> 0,139	–	<u>1,5; –</u> 0,151	<u>2,5; –</u> 0,162	<u>3,5; –</u> 0,174
Ячеистый бетон	–	<u>1,0; 0,16</u> 0,093	–	<u>1,5; 0,23</u> 0,104	–	<u>2,5; 0,38</u> 0,116	<u>3,5; 0,52</u> 0,139	<u>5,0; 0,73</u> 0,162
Пенополиуретан с керамзитом (Болгария, Германия)	–	–	–	–	<u>1,6; –</u> 0,083	<u>1,8; –</u> 0,084	–	–
Пенополиуретан с керамзитом (Германия — «Байер»)	–	–	–	<u>1,4; 1,0</u> 0,083	<u>1,7; 1,0</u> 0,084	–	–	–
Полиэфирный пенопласт с керамзитом (Франция)	–	<u>2,0; –</u> 0,145	–	–	–	–	–	–
Цемент + молотый песок + пенополистирол (Германия)	–	<u>1,1; –</u> 0,162	–	–	–	–	–	–
Пенополимербетон на фурановых смолах и полиизоцианатах (НИИЖБ)	–	<u>2,0; 1,5</u> 0,069	–	<u>3,0; 2,0</u> 0,104	–	<u>4,0; 2,5</u> 0,128	5,0; 3,0	–
Полимербетон на УКС и перлитовом песке (НИИЖБ)	–	–	–	<u>4; 1,2</u> 0,093	–	<u>5,4; 1,8</u> 0,105	–	–

*Результаты анализа промышленных технологий
изготовления легковесов*

- Пеновой способ складывается из следующих основных операций: тонкое измельчение сырья, раздельное приготовление технической пены и шликера и их смешивание, заливка пеномассы в индивидуальные

формы, сушка масс, распалубка, обжиг, шлифовка и обрезка изделий. Процесс изготовления легковесов таким способом трудоемок (длится 5–10 суток) и связан с большим расходом электроэнергии и топлива, однако из-за отсутствия более приемлемых методов, позволяющих получать высокую пористость (85—90 %), промышленность вынуждена выпускать изделия таким способом.

- Комбинированный способ (разновидность пенового способа) основан на введении в пеномассу до 66 % по объему вспученного перлитового песка, что дает возможность в 1,8 раза снизить сушильные усадки. Однако перлитовый песок значительно снижает температуру применения изделий, не позволяя полностью использовать потенциальные возможности огнеупорных глин. Технологическая схема производства легковесов и ультралегковесов, построенная по этому принципу, громоздка и характеризуется большим количеством рабочих операций. Например, при производстве ультралегковеса ШЛБ-04 требуется подготовить 9 компонентов.

- Способ создания волокнистого каркаса, при котором волокна распушиваются на трепальной машине и загружаются в гидросмеситель. После перемешивания волокон с глиняным шликером гидромасса поступает на вакуум-пресс, где и происходит формование плит. Для очистки отжимных вод в гидромассу вводится осадитель. Отформованные плиты сушатся в туннельных сушилках и обжигаются при температуре 850—1150 °С. Такие плиты выпускаются Апрелевским опытным заводом теплоизоляционных изделий. Однако в настоящее время организован выпуск только высокоглиноземистого волокна и теплоизоляционных плит на его основе. Ассортимент изделий ограничен. (Волокнистые материалы с температурой применения выше 1600 °С промышленность не выпускает из-за отсутствия приемлемой технологии изготовления высокоогнеупорных волокон).

- Способ выгорающих добавок несложен и весьма технологичен. В керамические массы вводят выгорающие добавки с последующим их выжиганием. Формуют изделия полусухим прессованием, экструзионным способом или литьем. Затем сырец сушат и обжигают. В качестве выгорающих добавок используют всевозможные горючие материалы. Особенно широко применяются опилки твердых пород древесины. Однако использование опилок связано с рядом технологических трудностей: они придают массе значительное упругое последствие, и поэтому формование изделий производят методом литья; чрезмерно большое их количество ухудшает формовочные свойства массы, на их основе невозможно получить изделия с пористостью выше 60 %; они набухают, что приводит к неравномерной усадке и деформации изделий при сушке. «Узким местом» данного способа является и сушка. Эта операция выполняется в туннельных сушилках, а иногда проявливанием при 20—25 °С (фасоны).

Анализ технологического цикла производства, качества изделий, производительности труда (на отдельных заводах продолжительность сушки колеблется от двух до пяти суток, сушильные отделения занимают очень большие производственные площади (до 30 %), прочность сырца низкая) дает основание предполагать, что резервы, которыми располагает промышленность, значительны.

Практика показала, что производство легковесов — материало- и топливоемкий процесс: на одну тонну огнеупоров расходуется от 1,5 до 3,0 т сырьевых материалов. Доля сырца и топлива в структуре затрат на производство легковесов в среднем по отрасли составляет соответственно 20,2 и 14,1 % [65, с. 219]. Это один из важных факторов, определяющих экономику предприятия.

Удельный расход топлива в условном исчислении на производство легковесов характеризуется следующими данными:

пластическое прессование	410 кг/т;
полусухое прессование.....	165 кг/т;
пенолегковес и ультралегковес.....	330 кг/т;
обжиг во вращающихся печах шамота кускового	120 кг/т.

Основные направления экономии топливно-энергетических ресурсов и повышения качества изделий сводятся к дальнейшему снижению расхода керамических компонентов, значительному сокращению в составе масс «энергоемкого шамота», резкому сокращению сушильного процесса, ликвидации многокомпонентности систем, значительному повышению прочности сырца и обожженных изделий, ликвидации обрешки и шлифовки (безотходная технология), существенному снижению себестоимости изделий [140]. За счет улучшения структуры материала повышается прочность и термостойкость легковесов, что в основном и определяет срок их службы. В свою очередь, увеличение продолжительности службы легковесов сокращает общее время простоя тепловых агрегатов, повышает их производительность, резко снижает расход ценного сырья и топлива.

1.2.1. Полистиролбетонные композиционные изделия и возможные пути создания новых эффективных модификаций

В настоящее время многие исследователи уделяют особое внимание композиционным материалам; преимущество производства этих материалов перед традиционными очевидно. Одним из таких композитов является стиропорбетон. В России для его изготовления в основном применяют литьевую технологию. Повышенное количество воды затворения, сверх оптимального, приводит к повышению капиллярной пористости, а следовательно — к повышению водопоглощения, снижению прочности, водо- и морозостойкости.

При литьевой технологии образуется разрыхленная сообщающаяся капиллярная пористость с каналами большого размера. Способность такого материала воспринимать без разрушения внешние нагрузки низка, процесс разрушения носит цепной характер при интенсивном объединении капиллярных пор и каналов в микротрещины.

Применение вибрационной технологии позволило значительно снизить В/Ц (водоцементные отношения), что повлекло за собой снижение производственной и эксплуатационной влажности изделий, водопоглощения и усадки [100, с. 6—9]. Кроме того, данная технология позволяет ускорить нарастание структурной прочности бетонной смеси, а значит — сократить срок выдержки перед тепловой обработкой, что дает возможность производить немедленную распалубку изделий после виброформования.

При рассмотрении механизма вибропрессования минеральной смеси, содержащей пенополистирольные зерна, необходимо учесть: характер распространения колебаний в стиропорбетоне сходен с тем же процессом в легкобетонных смесях, однако в количественном отношении между ними наблюдаются существенные различия. Они заключаются в том, что скорость распространения упругих волн, наряду с другими факторами, зависит от упругих постоянных и плотности тела [84, с. 19—21]. Массовая плотность обычной бетонной смеси составляет $0,24 \times 10^5 \text{ кг} \times \text{с}^2/\text{см}^4$, керамзитобетонной смеси — $0,18 \times 10^5 \text{ кг} \times \text{с}^2/\text{см}^4$, а минерально-пенополистирольной смеси $0,3 \times 10^6 \text{ кг} \times \text{с}^2/\text{см}^4$, то есть почти в 10 раз меньше. В минерально-пенополистирольной смеси со средней плотностью $400 \text{ кг}/\text{м}^3$ 80 % и более объема занято зернами пенополистирола, модуль упругости которых в 2400 раз меньше модуля упругости гранитного щебня и примерно в 300 раз — керамзитового гравия. В результате в таких смесях коэффициент затухания волновых колебаний будет весьма высоким. Следовательно, режим виброуплотнения минеральнопенополистирольных масс должен отличаться большей интенсивностью, а величина давления пригруза будет учитывать напряженно-деформированное состояние пенополистирола. Регулирование и управление как первым, так и вторым фактором чрезвычайно сложны. К тому же такой метод уплотнения масс не обеспечивает оптимальной плотности межгранульного материала. Наряду с этим имеет место неравномерность уплотнения и перепрессовка, а также упругая деформации пенополистирола, что в целом снижает механические свойства изделий.

Таким образом, получение стиропорбетонных повышенных свойств должно идти по пути лучшей уплотняемости, чем в уже известных случаях. Исходя из этого, необходимо разработать технологию, позволяющую довести количество воды в системе до значений, близких к теоретически необходимым для гидратации вяжущего. Такой стиропорбетон будет характеризоваться низкими значениями капиллярной пористости, высокой плотностью цементного камня.

1.3. Научно-техническая концепция и научная гипотеза монографии

Анализ производства и свойств жаростойких легковесных материалов показывает, что их технология многодельна, энергоемка и далека от оптимальной, а свойства получаемых изделий не всегда удовлетворяют современным требованиям эксплуатации тепловых агрегатов. Именно поэтому вопросами изготовления таких материалов в России и за рубежом занимаются большие группы ученых, ряд НИИ, вузов, производственных объединений. Конечной целью этих исследований является разработка оптимальных технологических процессов, позволяющих создать энергосберегающие и безотходные технологии высококачественных жаростойких легковесов, способных надежно работать в различных условиях эксплуатации. Организация эффективного производства высококачественных материалов возможна при условии учета актуальной проблемы — всемерной экономии как энергетических ресурсов, так и дорогостоящего сырья, а также существенного снижения трудоемкости.

Вместе с тем данные материалы — наиболее сложный объект исследования. Объем и глубина их проработки в области совершенствования технологии и создания материалов новых классов значительно ниже, чем материалов плотных. Большинство применяемых ныне технологических приемов и параметров производства приняты на основе практики изготовления изделий и не всегда базируются на обоснованных теоретических положениях. В значительной мере это связано с тем, что до сих пор при производстве жаростойких легковесов преобладает способ пенообразования с присущей ему сложностью, и практически нет разработок в области совершенствования наиболее простого и перспективного метода выгорающих добавок. Это отставание вызвано исторически сложившимся мнением о невозможности получения изделий с пористостью выше 65 % методом выгорающих добавок. Традиционное теоретическое воззрение на сушку высокопористых масс как на процесс удаления воды затворения только испарением привело к применению весьма продолжительного цикла сушки. Кроме того, перспективным является и решение вопроса получения легковесной жаростойкой керамики без использования такого энергоемкого компонента, как шамот. В настоящее время на 1 м³ изделий расходуется от 400 до 1200 кг последнего, при этом на изготовление такого количества шамота используется от 50 до 150 кг условного топлива. Исключение шамота из технологического цикла — весьма важная и перспективная задача, однако решить ее пока не удалось, так как исследователи выбирали традиционные пути без учета скрытых возможностей способа выгорающих добавок.

В данной монографии автор поставил перед собой задачу с определенной степенью детализации исследовать возможность перевода про-

изводства жаростойких легковесов и легких бетонов на единую схему изготовления методом самоуплотнения масс. Такой подход и схема производства с соответствующими коррективами могут быть применены для любого типа жаростойких изделий с высокопористой ячеистой структурой, а также для изготовления некоторых видов легкого бетона.

Гипсовые материалы и изделия широко применяются в современном строительстве. По сравнению с бетонами и строительными растворами на основе портландцемента применение гипсовых строительных материалов связано со сравнительно низким удельным расходом топлива и энергии. Так, затраты топлива на изготовление 1 т гипсового вяжущего в 4 раза, а удельные капитальные вложения в 2 раза ниже, чем на производство 1 т цемента [44, с. 201].

Современная технология легких гипсобетонов базируется на применении подвижных растворных смесей, так как их легко укладывать в формы. Однако большое количество воды ухудшает основные свойства изделий, образуя развитую сеть капиллярных пор, ослабляющих рабочее сечение изделий и вызывающих концентрацию напряжений в отдельных микрообъемах материала. Поэтому существенное снижение воды затворения весьма важно для получения гипсовых изделий с максимальной прочностью.

Обычно снижение влажности при сохранении заданных значений пластично-вязких свойств достигается различными приемами: подбором грансостава компонентов, применением интенсивных вибрационных воздействий, введением ПАВ и т.д. Этими приемами стремятся снизить количество воды затворения на стадии приготовления исходной смеси. Общая же технологическая направленность при получении качественных стиропорбетонов должна, на наш взгляд, состоять в том, чтобы, используя подвижные формовочные смеси, получать низкие значения влажности бетона-сырца на этапе формования.

Литьевая технология легкого гипсобетона помимо снижения показателей свойств материала требует также проведения дополнительных операций на отделку и подсушку изделий (до 14 ч). Поэтому задача состоит в том, чтобы в одной технологической операции совместить ряд процессов: максимальное уплотнение минеральной части смеси, удаление излишней влаги путем механического ее отжатия, придание формовочной смеси необходимой формы и обеспечение хорошей лицевой поверхности изделий.

Отличительной особенностью современного производства является значительная интенсификация технологических процессов, что практически всегда связано с ростом рабочих температур и давлений, ускорением энергетических превращений. В связи с этим к материалам, используемым для строительства промышленных печей и другого терми-

ческого оборудования, предъявляются повышенные требования по температуре службы, прочности термической и коррозионной стойкости, а также ряд специальных требований.

Таким образом, общей научно-технической задачей данной работы является теоретическое обоснование и внедрение принципиально новых малоэнергоемких методов изготовления высокопористых жаростойких материалов ячеистой, волокнистой и ячеисто-волокнистой структуры, а также легких бетонов, обеспечивающих высокое качество изделий. Для решения поставленной задачи мы положили в основу следующую научно-техническую концепцию. Существенного снижения энергетических затрат, трудовых и материальных ресурсов при изготовлении изделий можно достичь путем совмещения возможно большего числа процессов в одной технологической операции. При этом необходимо применять технологические приемы, обеспечивающие повышение качества изделий.

С учетом этой концепции выдвинута следующая научная гипотеза. Улучшение функциональных показателей изделий и создание новых классов материалов по энергосберегающим и безотходным технологиям возможно путем создания малодефектных структур с увеличенной площадью и прочностью контактов между компонентами. Побудительными мотивами эффекта активации может быть выжимание избыточной воды затворения путем обжатия систем теплосиловым воздействием в перфорированных объемах и контактно-самоомоноличивающимися явлениями в скелетных системах.

С этих позиций в монографии рассмотрены теоретические положения и их практическая реализация.

Очевидно, что в одной работе невозможно глубоко исследовать все многообразие жаростойких высокопористых материалов и легких бетонов и представить окончательные практические рекомендации по их производству. Однако, рассмотрев наиболее типичные и широко производящиеся промышленностью материалы и изделия, можно получить общие закономерности, характеризующие и определяющие тот или иной технологический прием для целой группы материалов, например для высокопористой керамики и легких бетонов, невзирая на различие исходного сырья. Именно такой подход может объективно охарактеризовать эффективность того или иного технологического способа изготовления изделий. Исходя из данного положения при проведении работы, мы выбрали в качестве объектов исследований следующие материалы:

- 1) жаростойкие высокопористые керамические изделия: шамотные, высокоглиноземистые, в том числе разноплотные, керамоволокнистые, получаемые на основе муллито-кремнеземистого волокна;

2) полистиролбетоны различного назначения.

Такой выбор материалов объясняется, во-первых, необходимостью детальной отработки нового способа производства на однородной группе материалов из различного сырья (жаростойкие керамические легковесы); во-вторых, перенесением полученных основополагающих закономерностей нового способа на другой вид материалов. В данном случае выбран легкий бетон на гипсовом вяжущем. Это сделано неслучайно. Существенное снижение водосодержания в материалах на основе гипса по целому ряду причин является трудной задачей по сравнению с другими видами гидравлических вяжущих. Поэтому мы предположили, что, решив задачу на этом материале, сможем перенести основные закономерности и на другие виды вяжущего.

Для решения общей научно-технической задачи, поставленной в данной работе, и подтверждения положений научной гипотезы необходимо решить следующие частные задачи:

- проанализировать и обобщить литературные источники и производственный опыт изготовления теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных материалов (от высокотемпературных до строительных) с целью получения исходных данных для обоснования теоретических предпосылок создания гаммы эффективных изделий (в том числе и нового класса) ячеистого и ячеисто-волокнутого бетона безотходными и малоэнергоемкими методами;

- исследовать основные закономерности и получить количественные оценки комплексного влияния различных технологических факторов на создание малодефектных структур с увеличенной площадью и прочностью контактов между компонентами, вскрыть физико-химическую сущность этих процессов для действенного контроля и управления ими;

- разработать новые технологические способы и определить параметры изготовления теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных материалов с улучшенными функциональными показателями;

- исследовать основные эксплуатационные свойства материалов с улучшенной структурой, выявить рациональные области применения изделий, исходя из уровня технологии и свойств;

- исследовать технико-экономическую целесообразность производства по новым технологиям. Основной объем исследований выполнен для поризованных жаростойких изделий и, в частности, для наиболее распространенных групп — шамотных и высокоглиноземистых в интервале средних плотностей $250\text{—}1300\text{ кг/м}^3$, а также для стиропорбетонных. Опыт показал, что полученные зависимости, закономерности и общий методический подход к решению проблемы смогут быть успешно перенесены и на другие виды материалов.

ГЛАВА 2. СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРОТЕПЛОСИЛОВОГО ПОЛЯ КАК СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СКОРОСТНЫМ МЕТОДОМ

На протяжении десятилетий наука о высокопористой керамике и теплоизоляционных бетонах решает задачу: путем удаления излишка воды, добавляемой в формовочные смеси в целях придания последней необходимой текучести (подвижности), максимально снизить энергозатраты на испарение (на испарение 1 кг влаги расходуется 1100—1200 ккал), сократить сроки тепловой обработки и повысить качество изделий. При испарении воды затвердения ухудшаются основные свойства изделий из-за образования развитой сети капиллярных пор, ослабляющих «рабочее сечение» изделий и вызывающих концентрацию напряжений в отдельных микрообъемах материала [154, с. 490]. На определенном этапе развития исследований был предложен ряд приемов, снижающих исходную формовочную влажность масс (вибрация, экструзия, введение химических добавок и т.д.), однако они лишь уменьшали, но не устраняли недостатки и усложняли технологию. Авторы предлагают иной подход к решению данной проблемы — разработка технологических приемов, позволяющих совершенствовать производство высокопористой керамики, теплоизоляционных и легких бетонов путем снижения влагосодержания масс удалением излишков влаги на этапе формования изделий без применения механических усилий извне. В этом случае определяющим становится не начальное влагосодержание масс, а оставшееся после принудительного отжатия физически связанной воды. При этом авторы исходили из теоретических представлений о том, что интенсивно удалять влагу необходимо не путем испарения, а принудительным отжатием за счет создания избыточного внутреннего давления в массах, находящихся в жестком перфорированном объеме.

Создать избыточное давление в формах извне можно несколькими способами, однако технологически это трудно выполнить из-за сложности аппаратного оформления. Поэтому наиболее простым и перспективным приемом создания избыточного давления, на наш взгляд, является способ введения добавок, проявляющих активность (увеличение в объеме) в процессе теплового или химического воздействия на уложенную в замкнутую форму массу.

Нами рассматривались различные добавки: алюминиевая пудра, пергидроль и другие химические ингредиенты, которые, вступая в реакцию с основными компонентами, выделяют газ, создавая тем самым некоторое избыточное давление в закрытых формах. Но в этих случаях

развиваемое в формах давление слишком мало и не позволяет удалять большое количество воды затворения. (Так, при работе с керамическими массами не полностью уходила даже усадочная вода.) К тому же процесс создания избыточного давления такими добавками технологически трудно регулировать, а для осуществления химических реакций и закрепления вспененных масс требуется введение стабилизирующих добавок, что делает (например, в случае получения легковесов) шихту многокомпонентной и, как правило, снижает температуру применения изделий.

Таким образом, мы установили, что в качестве активного компонента смеси необходима добавка, способная:

- развивать значительное внутреннее давление в массе, находящейся в замкнутом объеме, которое обеспечивает механическое отжатие (удаление) физически связанной влаги;
- обеспечивать создание высокой и регулируемой пористости в теплоизоляционной керамике;
- гарантировать стойкость масс от разрушения после снятия избыточного давления внутри формы;
- улучшать сушильные свойства формуемых масс;
- иметь низкую зольность после выжигания.

В качестве такой добавки был опробован бисерный полистирол фракции менее 0,5 мм (полистирольная пыль) для легковесной керамики и рядовой бисерный полистирол (ПСВ) для гипсополистиролбетона. Как показали исследования, такая добавка полностью удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям.

Известны исследования [35, с. 30—34; 10], выполненные в СССР и за рубежом, по применению полистирола в качестве легкого заполнителя в бетонах, при этом подобных исследований для жаростойких теплоизоляционных изделий значительно меньше [1, с. 47; 12, с. 246—253; 6, с. 316; 8, с. 103].

Как мы уже отмечали, технологические приемы получения изделий на основе пенополистирола различны: литье, прессование, экструзия, вибропрессование. Литьевой метод формирования масс на окончательно вспененном полистироле весьма нетехнологичен из-за высокого водосодержания формовочных масс, что предопределяет длительную продолжительность сушки, большой расход энергии при значительных воздушных усадках сырца из керамических масс и несовершенство структуры в бетонах. Экструзия и тем более прессование минералополлистирольных масс, которые практикуются за рубежом [77, с. 45—53], также неприемлемы, так как зерна пенополистирола, составляющие каркас формируемой массы, являются легкодеформируемым материалом

и обладают упругим последствием. Зерна пенополистирола начинают деформироваться под действием незначительных усилий (0,035—0,04 МПа), поэтому уплотнить минеральные компоненты и получить плотную систему межпоровых перегородок не удастся. Вибропрессование [134] позволило при малом водосодержании масс исключить деформацию зерен пенополистирола и обеспечило уплотнение частиц минерального компонента. Однако упругая выгорающая добавка ухудшает вибрационные свойства смеси, приводя к значительному затуханию колебаний по мере удаления от источника вибрации. Следовательно, интенсивность вибрации, особенно при формировании массивных изделий, должна быть весьма значительной. Но и в этом случае имеет место неоднородность уплотнения масс.

Получение изделий на пенополистироле экструзией, прессованием и вибропрессованием требует механических усилий уплотнения. Общим же серьезным недостатком рассмотренных приемов формирования является бесполезное растрачивание потенциальной энергии вспенивающегося полистирола, которая заключается в том, что при тепловой обработке, начиная с температуры, превышающей 80 °С, он переходит в эластичное состояние, а вспенивающий компонент (изопентан) испаряется, что вызывает значительное увеличение объема гранул.

Вспенивание полистирола в процессе тепловой обработки масс дает возможность создать технологию, при которой его роль становится еще более рельефной, и он превращается из пассивного в активный компонент. Такой технологический прием, названный нами «самоуплотнением», дает возможность в 10—12 раз сократить сроки сушки керамических масс и легких бетонов, а следовательно и всего производственного цикла, исключить сушильную усадку, ликвидировать механическую обработку изделий после обжига, отходы от которой достигают 60 %, получить изделия различных заданных фасонов и объемов, так как в замкнутой форме под действием внутреннего давления происходит равномерное уплотнение и создание нужного профиля изделий. С выжиманием влаги из масс растет концентрация минерального компонента в мембране и, следовательно, ее прочность, что улучшает эксплуатационные свойства изделий.

Позже мы отдельно рассмотрим теоретические основы получения теплоизоляционных огнеупоров, а также теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных бетонов. Физическая сущность разрабатываемого технологического приема для этих материалов одна и та же, однако есть определенные различия, характерные для обжиговых изделий и материалов на основе гидравлических вяжущих веществ.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru