

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Строительный факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА И  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Материалы 71– й студенческой  
научно– технической конференции

12– 27 мая 2015 г.

Минск  
БНТУ  
2015

УДК 691.32

ББК 38.3

А 43

Редакционная коллегия:

**Э. И. Батяновский** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология бетона и строительные материалы»;

**М. Г. Бортницкая** – старший преподаватель кафедры «Технология бетона и строительные материалы»

Рецензенты:

**В. В. Бабицкий** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология бетона и строительные материалы»;

**Г. Т. Широкий** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология бетона и строительные материалы»;

**П. И. Юхневский** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология бетона и строительные материалы»

Сборник содержит материалы 71-й студенческой научно-технической конференции «Актуальные проблемы технологии бетона и строительных материалов». В издании освещены материалы пленарного заседания, исследующего проблемы технологии производства и особенности эксплуатации бетона и других строительных материалов.

Издание предназначено для научно-педагогических работников, студентов, магистрантов и аспирантов.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Богданов Г.А., Александрова А.П.</i> Долговечность полистирольного пенопласта в процессе эксплуатации .....	4
<i>Демидович К.Н.</i> Перспективы применения отечественных углеродных наноматериалов в цементных бетонах .....	7
<i>Малаховская Т.А.</i> Перспективы получения цементных бетонов с минеральной добавкой на основе производственных отходов (гранитного отсева) РУПП «Гранит» .....	12
<i>Пригожаев Е.В., Нудный С.А.</i> Технология и свойства силикатополимербетона .....	17

## **Долговечность полистирольного пенопласта в процессе эксплуатации**

Богданов Г.А., Александрова А.П.  
Научный руководитель – Юхневский П.И.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Пенополистирольный пенопласт относится к гетерогенным полимерным материалам, имеющим линейную структуру и характеризуется агрегативной физической неоднородностью из-за наличия в полимерной матрице диспергированных газовых включений. Одним из важных факторов, определяющих качество пенопластов, является соотношение числа открытых и закрытых пор в их структуре. Физико-механические свойства конечного продукта улучшаются с увеличением содержания закрытых пор.

Основными показателями, характеризующими энергоэффективные строительные материалы, в частности пенополистирол, являются плотность, прочность при изгибе и сжатии при 10% линейной деформации, теплопроводность, водопоглощение, время самостоятельного горения, которые зависят от рецептуры исходной композиции и технологии производства. В настоящий момент из вспененного полистирола изделия выпускаются беспрессовым способом формования (EPS, ПСБ и ППС) и экструзионным (ЭППС и XPS).

Неизбежность деструкции полистирола обусловлена составом полимеризационных пластмасс. Под воздействием внешних факторов (тепло, свет, радиация, механические и биологические воздействия и др.) у полимеров происходит разрушение макромолекул, в результате чего изменяются физико-химические и эксплуатационные свойства. Деструкция пенополистирола отличается от деструкции полистирола тем, что у первого более развита наружная поверхность, которая характерна для всех вспененных материалов.

Различают высокотемпературную и низкотемпературную деструкцию пенополистирола. Высокотемпературная деструкция пенополистирола начинается при температуре +160°C. С повышением температуры до +200°C начинается фаза термоокислительной деструкции. Выше +260°C – преобладают процессы термической де-

струкции и деполимеризации. В связи с тем, что теплота полимеризации полистирола одна из самых низких среди всех полимеров, в процессах его деструкции преобладает деполимеризация до исходного мономера – стирола.

Низкотемпературная фаза деструкции пенополистирола обусловлена воздействиями внешних и внутренних факторов, к которым относятся жидкие агрессивные среды, атмосферные воздействия (колебание температуры и влажности), старение (фото–, тепло– и механохимическое старение). Для таких материалов наиболее пагубными являются фото– и теплостарение, вызванные действием ультрафиолетового облучения, солнечного света и теплового излучения.

В результате фотостарения в полимерах протекают окислительные реакции, приводящие к их деструкции. Происходит снижение механических свойств, наблюдается растрескивание поверхности, изменяется окраска полимера. Наиболее вредное воздействие оказывает ультрафиолетовое (УФ) излучение в диапазоне 290...400 нм. Поглощённая энергия вызывает разрушение наиболее слабых химических связей в цепях полимера и не влияет на скорость межмолекулярных перегруппировок. При этом образуются активные свободные радикалы, инициирующие деструкцию полимера. В присутствии атмосферного кислорода и воды этот процесс ускоряется, а повышение температуры приводит к возрастанию скорости окисления полимера.

При УФ облучении изменяется структура пенополистирола. Растет анизотропия ячеек, приводящая к анизотропии самого материала. При этом наблюдается усиление тяжёлой ячеистой структуры и нарушение целостности пленок, образуются сквозные поры, приводящие к нарушению целостности ячеек.

Изменения структуры экструдированного пенополистирола в результате фотодеструкции аналогичны пенополистиролу, изготовленному по беспрессовой технологии. За счет раскрытия внутренних ячеек изменяется плотность материала, что сказывается на его теплофизических свойствах. Дальнейшее действие УФ радиации вызывает разрушение тяжёлой (стержней) в структуре полистирола и приводит к полному изменению ячеистой упаковки.

В результате теплостарения степень замкнутости ячеек и кажущаяся плотность у материала снижается. Разрушение стенок яче-

ек обусловлено как действием механического напряжения за счёт перепада давления газа внутри и снаружи ячеек, так и деструкцией полимеров. Коэффициент теплопроводности пенопластов интенсивно увеличивается на начальном этапе старения, но в дальнейшем изменяется незначительно.

Деструкция пенополистирола, вызванная теплостарением, аналогична процессам, протекающим при фотостарении. Скорость развития этих процессов зависит от температуры окружающей среды. Так, к 7 суткам испытания на теплостарение при температуре  $+30^{\circ}\text{C}$  происходит разрушение тонких оболочек структуры пенопласта и полной анизотропии её текстуры. К 28 суткам воздействия происходит полное раскрытие пленок ячеек с образованием сквозных микропор, что сопровождается увеличением закрытой и открытой пористости материала. При аномально высоких летних температурах (более  $+60^{\circ}\text{C}$ , например, на солнце) происходит резкое падение упругих характеристик пенополистирола с теплостойкостью  $+60^{\circ}\text{C}$ .

При нормальных условиях плотность пенополистирола изменяется незначительно и во многом зависит от влажности окружающей среды. Величина водопоглощения пенополистирола увеличивается в условиях теплостарения. По нашему мнению, это вызвано разрушением стенок ячеек и инфильтрацией влаги по образовавшимся открытым порам. В связи с этим, экструдированный пенополистирол хуже воспринимает аномально высокие температуры. Поверхностные слои пенополистирола, изготовленного по беспрессовой технологии, при высокой температуре спекаются в результате развивающегося процесса деполимеризации стирола. Это сопровождается снижением паропроницаемости материала, а в конструкции приводит к увеличению влажности, развитию сырости и плесени. Кроме того, термодеструкция пенополистирола, как и фотодеструкция, пагубно влияет на прочностные характеристики материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дементьев А.Г. Структура и свойства пенопластов. -М.: Химия, 1983. -176с.
2. Гуямджян П.П., Коканин С.В., Цыбакин С.В. Деструкция пенополистирола при фото- и теплостарении. /Вестник МГСУ. - 2011.- №1. - с.86-91

## **Перспективы применения отечественных углеродных наноматериалов в цементных бетонах**

Демидович К.Н.

Научный руководитель – Рябчиков П.ВИ.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В современных условиях все большую значимость приобретает знание, способность и умение управлять процессами структурообразования при получении различных (в том числе и строительных) материалов на уровне размеров элементарных частиц, из которых «строится» данный материал. Открытие в начале 90-х г.г. XX века углеродных наноматериалов (УНМ), развитие технологии их получения в институте тепло- и массообмена НАН Беларуси позволило разработать новый способ их получения в плазме высоковольтного разряда и создать соответствующее оборудование для реализации технологии производства УНМ. Дальнейшее ее совершенствование позволило запатентовать способ получения углеродного наноматериала в плазме высоковольтного разряда атмосферного давления, что обеспечило существенное повышение выхода УНМ, снижение содержания аморфного углерода в итоговом материале и стоимости получаемого УНМ. На повестку дня стал вопрос практического использования углеродных наноматериалов, в том числе и в строительной отрасли, в частности, в технологии получения базового конструкционного строительного материала – бетона.

Для решения этого вопроса были начаты системные исследования применения УНМ в технологии получения бетона, которые осуществляются совместно с институтом тепло- и массообмена НАН Беларуси и Белорусским национальным техническим университетом на базе кафедры «Технология бетона и строительные материалы» и ее научно-исследовательской лаборатории.

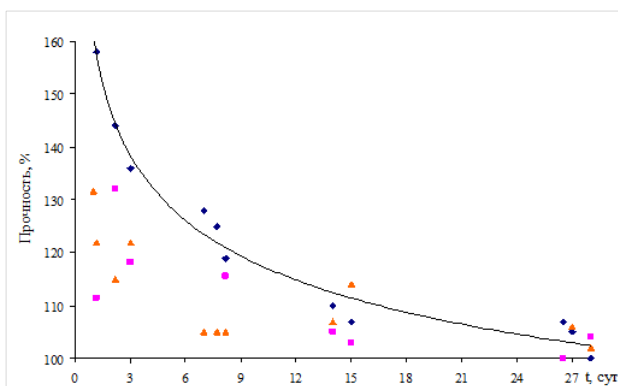
Особенность и уникальность применения вещества УНМ, характеризующегося огромным потенциалом поверхности ультрадисперсных частиц, заключается в достижении положительного результата, выраженного ростом прочности цементного камня, при дозировках в сотых и даже тысячных долях процента от массы цемента.

С позиций эффективного воздействия УНМ на процессы структурообразования, твердения и на прочность цемента особую значимость имеют высочайшая потенциальная энергия ультрадисперсных УНМ и их свойство в определенных условиях получения формировать тончайшие волокна значительной (до десятков микрон) длины. Их особенностью является значительная длина при малых размерах поперечного сечения, которое может быть в диаметре менее 1 нм. Такой волокнообразный материал, характеризующийся значительной прочностью на растяжение, может оказать огромное влияние на прочностные характеристики цементного камня и бетона. Присутствие таких тончайших волокон в твердеющем цементном камне создает условия для эффекта «наноармирования» структуры новообразований в виде спонтанно формирующейся системы гидроокислов клинкерных минералов. Малые поперечные размеры нановолокон при длине, значительно превышающей размеры собственно гидрокристаллов силикатов, алюминатов и ферритов кальция, соответствующих ~ 8,0 – 15,0 нм, обеспечивают необходимые предпосылки для «защемления» волокон в межплоскостных пространствах соседствующих поверхностей множества гидрокристаллов, что и обеспечивает эффект армирования нано- и микроструктуры объема новообразований затвердевшего цементного камня. Следствием этого является рост его прочности на растяжение и сжатие, что отражается в приведенных далее результатах экспериментов.

На рис. 1 приведены фактические данные по оценке прочности на сжатие и тенденции ее изменений для образцов цементного камня в зависимости от времени твердения (рис. 1а) и количества (дозировки) вещества УНМ в процентах от массы цемента (рис. 1б).

На основании полученных данных по прочности можно обоснованно утверждать о наличии общей положительной тенденции влияния ряда веществ УНМ на рост прочности цементного камня в стандартном проектном возрасте (28 сут.) и более существенного влияния их на кинетику ее роста в начальный период, что позволяет одновременно рассчитывать на эффект снижения энергетических затрат при ускорении твердения бетона сборных и монолитных строительных конструкций с соответствующим сокращением времени оборота форм и опалубок и связанной с этим экономической эффективностью.





*Рис. 1а*



*Рис. 1б*

*Рис. 1. Тенденция изменений прочности цементного камня с УНМ: нормально-влажностное твердение; дозировка 0,05% от МЦ – (а); в зависимости от величины ее дозировки – (б)*

В технологический процесс производства высококачественных поризованных бетонов входит диспергация (помол) песка. Учитывая выявленный эффект роста прочности цементного камня с введением в цемент УНМ, было исследовано возможное влияние их на процесс диспергации одного из компонентов кремнеземистого вяжущего для ячеистых силикатных бетонов (рис. 2).

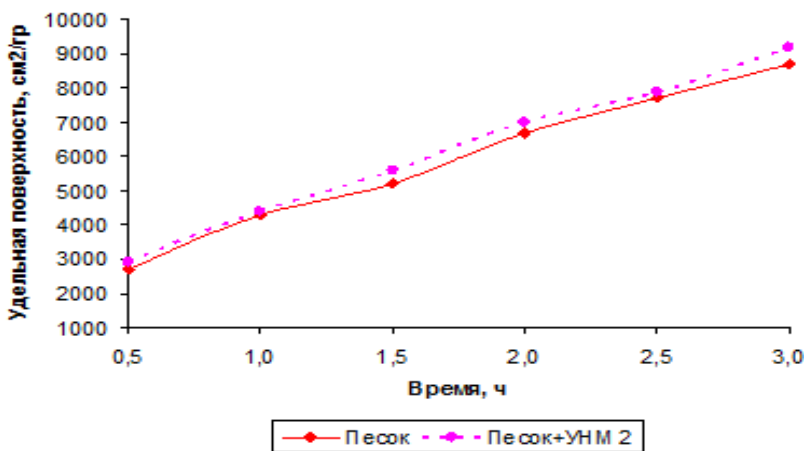


Рис. 2. Кинетика изменений удельной поверхности (песок; песок +УНМ)

Из приведенных данных виден стабильный рост удельной поверхности, по сравнению с контрольными значениями, на протяжении всего времени помола, при этом максимальные величины прироста отмечаются к 0,5 ч (7,4 %) и 1,5 ч (7,7 %) работы мельницы. Эти данные свидетельствуют о принципиальной возможности применения УНМ в качестве добавок для интенсификации (одновременно - снижения энергозатрат) помола различных материалов.

В рамках выполнения комплекса исследований была осуществлена проверка стандартизированных свойств цемента и бетонных смесей на вяжущем, модифицированном веществом УНМ. Установлено, что исследованные вещества УНМ, произведенные в институте тепло- и массообмена НАН Беларуси для обеспечения работ из разных исходных материалов и по различающимся технологиям, не оказывают негативного влияния на водопотребность (нормальную густоту), сроки схватывания и равномерность изменения объема цемента, а также на технологические характеристики бетонных смесей: сохраняемость удобоукладываемости (формуемости), водоотделение и расслоение, что в целом свидетельствует о допустимости их применения в цементных бетонах.

Также установлен рост активности цемента, определенный по стандартизированной методике, что согласуется с приведенными данными о росте прочности цементного камня, модифицированного УНМ, и составляет основу для повышения прочностных характеристик цементных бетонов.

Выявленные закономерности роста активности цемента и цементного камня традиционного уровня прочности (в экспериментах до 70...80 МПа) с рядом веществ УНМ ставит на повестку дня осуществление соответствующих исследований для высокопрочного цементного камня и бетона (прочностью на сжатие более 100 МПа). Особую значимость в этой связи может иметь аспект применения ультрадисперсноволокнистых УНМ, так как неразрешенной проблемой для современных высокопрочных бетонов является их хрупкость (низкая деформативность) и предрасположенность к практически мгновенному разрушению при предельных нагрузках. По существу дальнейшее повышение прочности конструкционных бетонов на сжатие не целесообразно, т. к. не реализуется из-за отстающего при этом роста его прочности на растяжение и, соответственно, способности воспринимать поперечные деформации от нагрузок при сжатии. Решение этой проблемы за счет применения волоконных УНМ явилось бы существенным вкладом нанотехнологий в совершенствование перспективных строительных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Артамонова, О.В. Формирование структуры и управление прочностными свойствами гидросиликатных систем модифицированных ультра- и наноразмерными частицами / О.В. Артамонова, Д.Н. Коротких, Е.М. Чернышев // Первая международная конференция: Деформация и разрушение материалов, Москва, 13-16 ноября 2006, тез. докл. Москва, 2006, с. 514-516.

2 Королев, Е.В. Модифицирование строительных материалов нанокремнекислотными трубками и фуллеренами / Е.В. Королев, Ю.М. Баженов, В.А. Береговой // Строительные материалы - Наука. – 2006. – № 8. Приложение к научно-техническому журналу «Строительные материалы», 2006, №9, с. 2-4.

3 Лотов, В.А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий. / Строительные материалы. – 2006, №8. - с. 10-12.

**Перспективы получения цементных бетонов  
с минеральной добавкой на основе производственных отходов  
(гранитного отсева) РУПП «Гранит»**

Малаховская Т.А.

Научный руководитель – Смоляков А.В.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

За последних два столетия промышленное производство оказало огромное влияние не только на современную жизнь человека, но и поспособствовало глобальным изменениям экосистемы Земли. Всё чаще перед нами встают вопросы экологии, экономии и более рационального расходования природных ресурсов. И наиболее актуальны эти вопросы для добывающей промышленности, когда побочные продукты добычи сырья складываются под открытым небом, занимая полезные площади и, постепенно разносясь ветром, загрязняя близлежащие территории. Также стоит отметить, что в добыче побочных продуктов также задействуются денежные средства, которые не только не окупаются, но и приносят владельцу дополнительные расходы.

Одним из предприятий, решивших бороться с проблемой неиспользования побочных продуктов производства стал Микашевичский Гранит, где многотоннажные накопления гранитного отсева так и не нашли рационального прямого производственного использования ни в одной из отраслей народного хозяйства Беларуси.

Экспериментальные исследования их влияния на свойства бетона, а также бетона выявили ухудшение ряда прочностных и эксплуатационных характеристик (удобоукладываемости, средней плотности, прочности, роста проницаемости, снижение коррозионной и морозостойкости), что связано с высокой удельной поверхностью тонкодисперсных фракций и наличием микротрещин в структуре материала. Все это в целом показало нецелесообразность применения гранитного отсева в качестве заполнителя для бетона.

Однако гранит относится к типу кислых глубинных горных пород магматического происхождения, содержащих значительное количество  $\text{SiO}_2$  (более 65 %), а значит потенциально существует возможность проявления им эффектов, характерных для минеральных добавок с тонкодисперсными оксидами кремния. Известно, что добавка микрокремнезема в количестве 5...10 % от массы цемента в сочетании с пластифицирующими добавками I-ой группы (суперпластификаторами) позволяют получать быстротвердеющие и высокопрочные бетоны по литевой технологии, получившие названия «особопрочные», «особокачественные», «самоуплотняющиеся» бетоны. Однако микрокремнезем необходимого качества не выпускается промышленностью Беларуси из-за высокой стоимости. Вместе с тем рационален сам принцип или механизм действия «добавок-затравок» для использования их в качестве катализаторов процесса твердения и повышения темпа роста прочности цементного бетона или структурирования и повышения долговечности асфальтобетона.

В этой связи использование тонкоизмельченного гранитного отсева может оказаться более эффективным, чем применение его в качестве инертного наполнителя. Научной лабораторией кафедры «Технология бетона и строительные материалы» БНТУ были проведены исследования, и разработаны технологии получения портландцемента с минеральной добавкой на основе производственных отходов (гранитного отсева) РУПП «Гранит».

В процессе исследований выявилось влияние количественного содержания минеральной добавки – продукта помола гранитного отсева, в портландцементе на физико-технические свойства бетона. Во всех случаях был применен портландцемент с минеральной добавкой (гранитным отсевом) различной дозировки (0; 10; 20 и 30 % от массы клинкера), измельченной до тонкости помола  $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$  ( $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), равной удельной поверхности цемента, сохраняя в бетоне примерно неизменным объемное содержание смешанного вяжущего (цементного теста). Методики выполнения от-

дельных экспериментов по каждому из стандартизированных свойств бетона соответствовали действующим стандартам.

Влияние тонкомолотой дисперсной добавки на нормальную густоту и сроки схватывания определялись по прибору Вика. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 1. Нормальная густота цемента с добавкой и изменение сроков схватывания.

Вязущее и количество введенной добавки в % от МЦ	$S_{уд}$ добавки, $см^2/г$	$K_{НГ}$	Сроки схватывания, час– мин	
			начало	конец
Цемент Д0	–	0,285	2 – 10	3 – 25
Д10	3000	0,260	2 – 15	3 – 45
Д20	3000	0,275	2 – 35	4 – 08
Д30	3000	0,270	2 – 56	4 – 46

Из данных эксперимента следует, что введение в цемент вещества добавки, характеризующейся меньшей водопотребностью, коэффициент нормальной густоты вяжущего с добавкой отсева незначительно, но снижается, а также введение в цемент минеральной добавки в виде тонкомолотой гранитной породы несколько увеличивает сроки схватывания с ростом ее дозировки.

Проверка равномерности изменения объема с пропариванием «лепешек» из теста нормальной густоты проверяемого вяжущего, показала, что введение в цемент до 30 % от его массы минеральной добавки молотого гранитного отсева не вызывает не равномерности изменений объема. При дозировках добавки более 30 % от МЦ и, особенно, при  $S_{уд} = 9000 - 6000 \text{ см}^2/г$  нарастает проявление усадочных трещин по центральной части образцов.

Водопоглощение бетона по массе зависит от количества в цементе минеральной добавки в виде молотого гранитного отсева и увеличивается, примерно, на 2,5 % – 5 % при введении миндобавки взамен 10...20 % клинкерного (бездобавочного) цемента; увеличение ее дозировки до 30 % сопровождается ростом водопоглощения

бетона на 12...13 %. Сочетание качественной добавки пластификатора и миндобавки из гранитного отсева позволяет получать бетон, состояние структуры которого по объему и размерам (сечению) капилляров открытой пористости соответствует бетону, приготовленному на бездобавочном портландцементе.

В таблице 2 приведены данные об относительной прочности и активности цементного камня, полученного на чистом цементе и при различных дозировках минеральной добавки. Из результатов испытаний следует, что введение добавки не только не снижает прочность пропаренного цементного камня, но и в дозировке до 30 % от массы цемента способствует ее росту. При этом оптимум приходится примерно на дозировку 15– 20% добавки. Увеличение дозировки миндобавки более 30% от массы цемента очевидно приводит к снижению проектной прочности бетона.

Таблица 2. Прочность бетона и активность цементного камня

Дозировка добавки, %	Средние значения прочности, МПа:		Относительная прочность цементного камня (пропаренного), %	Прочность цементного камня в возрасте 28 суток, МПа
	на изгиб	на сжатие		
0	6,8	49,5	100	66,5
10	6,8	51,6	108	70,1
20	6,5	49,0	118	79,8
30	5,7	46,6	102	66,6

Результаты предыдущих экспериментов свидетельствуют о росте прочности цементного камня с добавкой мелкого гранитного отсева при  $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$  в дозировке до 30 % от массы цемента. Данные результаты связаны с активирующим воздействием тонкодисперсных частиц  $\text{SiO}_2$  на процессы его твердения. Подтверждение этой гипотезы было подкреплено исследованиями с помощью «ДТА– анализа» и рентгено– фазового анализа проб.

Испытания на морозостойкость бетона показали, что в целом бетон на портландцементе с минеральной добавкой из молотого

гранитного отсева характеризуется достаточной для изделий общестроительного назначения морозостойкостью, соответствующей в дозировке 20 % маркам «F200» – «F300».

Оценка защитной способности бетона с миндобавкой из гранитного отсева по отношению к стальной арматуре показала, что бетон с миндобавкой в количестве до 25 % от массы цемента обеспечивает сохранность стальной арматуры без признаков ее активизации (коррозии) как по критериям для обычного армирования, так и в случае преднапряжения арматуры.

Эффективность полученных результатов всего исследования заключается в установлении возможности использования минеральной добавки в виде молотого отсева с целью экономии клинкерной составляющей цемента, что одновременно сократит количество потребляемой для изготовления цемента энергии. Введение в цемент 15– 20% молотого гранитного отсева допустимо с позиций обеспечения физико– технических свойств конструкционного бетона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Батяновский Э.И. Особоплотный бетон сухого формования. – Мн.: НПО «Стринко», 2002. – 224 с.
2. Юхневский П.И., Широкий Г.Т. Строительные материалы и изделия: Учебное пособие. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 476 с.
3. ГОСТ 310.0-5-88 Цементы. Методы испытаний.
4. ГОСТ 30459-96 Добавки для бетонов. Метод определения эффективности.
5. ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
6. СТБ 1545-2005 Смеси бетонные. Методы испытаний.



## Технология и свойства силикатоплимербетона

Пригожаев Е.В., Нудный С.А.

Научный руководитель – Ковшар С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Полимерсиликатными называют материалы (растворы, бетоны, замазки) на кислотоупорном цементе, модифицированном полимерными добавками. Кислотоупорный цемент получают, затворяя смесь из тонкодисперсного кислотоупорного наполнителя (молотого кварца, диабаз, андезита и т. п.) и кремнефтористого натрия  $\text{Na}_2[\text{SiF}_6]$  жидким стеклом. Жидкое стекло — раствор силиката натрия или калия в воде.

Твердение кислотоупорного цемента происходит за счет взаимодействия силиката натрия  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$  с кремнефтористым натрием с образованием фторида натрия  $\text{NaF}$  и геля гидроксида кремния  $\text{Si}(\text{OH})_3$ . Гель, уплотняясь, соединяет частицы наполнителя, придавая материалу камневидные свойства. Этот процесс ускоряется под действием минеральных кислот; образующийся продукт противостоит почти всем минеральным кислотам, но недостаточно стоек к обычной воде.

Если в смесь кислотоупорного цемента добавить песок и крупный заполнитель из кислотостойких пород (кварца, андезита, диабаз, базальта), то получается кислотоупорный бетон. Основное назначение кислотоупорных бетонов и растворов — защита строительных конструкций от действия кислотных растворов (например, на химических, металлургических и других предприятиях). Поэтому от таких бетонов и растворов помимо кислотостойкости требуется высокая плотность и непроницаемость.

Основной компонент кислотоупорных бетонов — жидкое стекло — содержит довольно большое количество воды, почти не участвующей в процессе твердения материала. Поэтому даже при хорошем уплотнении бетонной смеси после ее затвердевания вода, испаряясь, оставляет в цементном камне систему сообщающихся пор. Из-за этих пор бетон становится проницаемым и кислые рас-

творы могут проникать через кислотоупорный бетон к основным конструкциям здания.

Превратить систему сообщающихся пор в отдельные замкнутые поры можно введением в кислотоупорный бетон полимерных добавок. Этот процесс называется кальматацией пор. При этом повышается и водостойкость кислотоупорных бетонов и растворов.

Полимерные добавки должны хорошо совмещаться с жидким стеклом; под действием кислых сред переходить в твердое состояние, устойчивое к длительному воздействию таких сред. Этим требованиям удовлетворяют фуриловый спирт, фурфурол, их смеси, а также водорастворимые фенолформальдегидные смолы.

Полимерсиликатные бетоны и растворы используют для устройства покрытий полов, наклеивания штучных кислотоупорных материалов, устройства кислотостойких конструкций (электролизных ванн, емкостей и т. п.).

Для крепления кислотостойких керамических плиток и заполнения швов между ними рекомендуется следующий состав полимер– силикатного раствора (мас. ч.): натриево жидкое стекло плотностью  $1380 \text{ кг/м}^3$  – 100; кремнефтористый натрий – 18; тонкомолотый наполнитель – 150; кварцевый песок крупностью до 1,2 мм – 200; фуриловый спирт – 3; отвердитель фурилового спирта (солянокислый анилин) – 0,4.

Для этих же целей рекомендуется кислотостойкая замазка состава (мас. ч.): жидкое стекло – 100; кремнефтористый натрий – 7; полимерная добавка (фуриловый спирт или смесь фурфурола с фуриловым спиртом 1:1) – 1,75; гидрофобизирующая кремнийорганическая добавка – 1,5...1,75 и тонкомолотый наполнитель – 120...150.

В качестве полимерной добавки используется 30% раствор фенолформальдегидной резольной смолы (ФРВ) в фуриловом спирте. Для увеличения деформативности в полимерсиликатные композиции вводят латекс СКС– 65, а для обеспечения высокой адгезии к керамике и шлакоситаллам – эпоксидную диановую смолу ЭД– 20 (3 мас. ч.) и в качестве отвердителя – формамид.

Адгезия при отрыве полимерсиликатных композиций 3...5,5 МПа. При этом коэффициент стойкости адгезионного соединения после зонной серной кислоты 1...1Д5 (у обычного кислотоупорного раствора эти показатели соответственно 0,4...0,5 МПа и 0,9...1,1).

Крупноразмерные полимерсиликатные изделия получают из бетонных смесей. Примерный состав полимерсиликатного бетона (мас. ч.): жидкое стекло – 100; кремнефтористый натрий – 15; полимерная добавка (фуриловый спирт или смесь фурилового спирта с фурфуролом 1:1) – 4; гидрофобизирующая кремнийорганическая добавка – 3...4; тонкомолотый наполнитель – 150; песок кварцевый чистый – 230...250; щебень из кислотостойких пород крупностью 5...20 мм – 380...400. Такие полимерсиликатные бетоны имеют прочность 20 МПа и более.

Жидкостекольные композиции, как известно, являются гетерогенными системами и до, и после отверждения, причем малоустойчивыми. Обладая большим запасом свободной поверхностной энергии, силикатные системы самопроизвольно отдают часть свободной энергии, совершая работу по сжатию системы. При этом уменьшается суммарная поверхность дисперсной фазы, и система переходит в более устойчивую форму. Как известно, наиболее устойчива система с выпавшим осадком дисперсной фазы. Процессу выпадения осадка предшествует процесс образования геля и агрегации.

С энергетической точки зрения самопроизвольный процесс агрегации коллоидных систем выгоден, так как устанавливается равновесие за счет запаса энергии свободной поверхности. При этом система сжимается, выдавливая растворитель, являющийся носителем большого запаса поверхностной энергии. Процессы, связанные с обжатием и выдавливанием растворителя, приводят к образованию микро- и макродефектов в твердеющих силикатных системах. Отсюда разрыхленность и пористость структуры.

Для уменьшения количества дефектов в структуре искусственного силикатного камня необходимо по возможности ограничить процесс синерезиса, гидрофобизировать систему, закрыть сквозные поры и связать излишки воды. Введение фурановых, фенольных и других полимеров способствует диспергированию жидкого стекла, крупные структурные элементы дробятся на более мелкие. Такая структура сохраняется и после отверждения, причем эффект диспергирования проявляется не только в том, что исчезают крупные структурные элементы и сопутствующие им крупные поры, но и в существенном снижении внутренних напряжений в системе.

В полимерсиликатных системах процесс твердения качественно не отличается от процесса твердения силикатных систем без добавок полимеров: гель – агрегация дисперсной фазы – уплотнение геля с возможной перекристаллизацией  $\text{SiO}_2$ . Однако количественная характеристика отдельных этапов процесса превращения силикагеля, очевидно, будет значительно изменяться, если в силикатную систему вводить фуриловый спирт или фурфурол. Эти добавки практически не меняют скорости образования геля в полимерсиликатной системе. Полимерные добавки, обволакивая частицы геля, препятствуют их сближению – агрегации. Такое явление в коллоидной химии называют «защитным действием» гидрозолей.

Так как полимерная добавка препятствует сближению частиц геля, то сжатие системы, а следовательно, и выделение воды из геля ограничивается, и усадка композиции значительно уменьшается. Обычно полимерная добавка вводится в количестве 3...5% от массы жидкого стекла, и этого количества не хватает на полное обволакивание частиц геля. Следовательно, процесс агрегации происходит, но не столь активно.

Обволакивание частиц кремнегеля полимерными добавками происходит сорбционно, т. е. фуриловый спирт и фурфурол имеют концевые полярные группы ОН и СНО соответственно, которыми они ориентируются в сторону кремнегеля. Радикалы этих полимерных добавок, обладающие гидрофобными свойствами, ориентируются наружу. Это вызывает эффект гидрофобизации системы и увеличивает плотность композиции.

Важным свойством фурилового спирта, фурфурола и других органических соединений с активными радикалами является их способность отверждаться кислотами. Поэтому при действии растворов кислот добавки полимеризуются, что приводит к дополнительному уплотнению системы.

Таким образом, механизм уплотнения полимерсиликатных бетонов при введении фурилового спирта или фурфурола можно рассматривать как результат нескольких процессов: диспергирования жидкого стекла, защитного действия кремнегеля от чрезмерного обжаривания, гидрофобизации и полимеризации (поликонденсации) добавок под воздействием растворов кислот. Описанный механизм уплотнения полимерсиликатов не раскрывает многих физико-химических процессов, происходящих на границе раздела фаз. Од-

нако даже такое упрощенное объяснение позволяет ответить на вопрос, каким образом добавки в количестве 3...5% по массе жидкого стекла обеспечивают практическую непроницаемость полимерсиликатных бетонов для растворов кислот. Максимальная проницаемость за длительное время составляет 3...5 мм в зависимости от концентрации кислот. При этом чем выше концентрация кислоты, тем меньше глубина проницаемости.

Полимерсиликатные бетоны состоят из вяжущего, отвердителя, полимерной добавки, наполнителя и заполнителя. В качестве вяжущего применяют водорастворимое натриевое или калиевое стекло плотностью 1,38...1,4 г/см<sup>3</sup>. Отвердителем в большинстве случаев является технический кремнефтористый натрий.

Наполнителями и заполнителями служат природные или искусственные материалы с кислотостойкостью не ниже 90%, в частности диабазы, базальты, граниты, андезиты, кислые шлаки, аглопорит и др. Полимерсиликаты в зависимости от гранулометрического состава наполнителей и заполнителей могут быть приготовлены в виде мастик, растворов или бетонов. В качестве полимерных добавок могут быть использованы такие соединения, которые хорошо совмещаются с жидким стеклом и отверждаются кислотами, по возможности малолетучими.

Составы полимерсиликатного бетона подбирают исходя из условий наименьшего расхода жидкого стекла, соблюдения хорошей удобоукладываемости и высокой плотности бетона. Учитывая повышенную вязкость жидкого стекла, для приготовления полимерсиликатных бетонов, как правило, применяют бетономешалки принудительного действия, способы формования изделий и конструкций из полимерсиликатных бетонов такие же, как и для обычных цементных бетонов.

Полимерсиликатные бетоны характеризуются значительно меньшей жизнеспособностью по сравнению с портландцементными бетонами. В среднем жизнеспособность их около 45 мин. Допустимое уменьшение количества кремнефтористого натрия приводит к увеличению жизнеспособности не более чем на 10...15 мин. Начавший схватываться полимерсиликатный бетон не пригоден для изготовления из него изделий или конструкций.

Твердение полимерсиликатных бетонов при нормальной температуре продолжается 28...30 сут. Для ускорения твердения используют сухой прогрев при 70...100°С в течение 8...10 ч.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мастики, полимербетоны и полимерсиликаты./ Под ред. В. В. Патуроева. – М.: Стройиздат, 1975. – 236с.
2. Нянюшкин Ю. И. Химически стойкие силикатополимерные композиции "КОРИАФ"/ Ю. И. Нянюшкин, А. В. Белов, Т. В. Карпова.// Обз. инф. Противокоррозионная защита. Сер.: Лаки и краски. М.: НИИТЭХИМ, 1991. - Вып. 2. - 26с.
3. Руководство по изготовлению и применению химически стойких полимеррастворов, полимербетонов и полимерсиликатов./ НИИЖБ. – Строй-издат, 1976. 24с.
4. Инструкция по технологии изготовления изделий и конструктивных элементов из бетона и композиций на основе жидкого стекла с добавкой полимеров./ ВНИИК. Черкассы: НИИТЭХИМ, 1982. - 32с.
5. Рекомендации по изготовлению и применению изделий и конструкций из полимерсиликатного бетона./ Утв. директором НИИЖБ 21 июня 1985 г.// НИИЖБ Госстроя СССР. М.: 1985. - 44с.
6. Аверичева Г. А. Влияние состава полимерсиликатов на долговечность защитных покрытий./ Г. А. Аверичева, Т. Г. Черкасова.// Вестник Кузбасского гос. техн. университета. Научно -технич. журнал. -Кемерово, Куз-ГТУ, 2003. № 2. - С. 48-55.