

*Воложанина Светлана Александровна*

магистрант

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный  
архитектурно-строительный университет»

г. Новосибирск, Новосибирская область

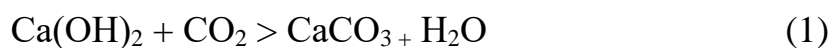
## **СНИЖЕНИЕ ВЫСОЛООБРАЗОВАНИЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В КАЧЕСТВЕ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ**

*Аннотация:* автор данной статьи указывает, что одной из основных причин появления высолов на поверхности цементного камня является несвязный гидроксид кальция. При введении в качестве добавки микрокремнезема в состав бетона отмечается повышение прочностных характеристик, а также уплотнение цементной матрицы вследствие связывания свободного гидроксида кальция.

*Ключевые слова:* высолообразование, высолы, микрокремнезем, гидроксид кальция, гидросиликаты кальция.

### *1. Введение*

Бетон нашел широкое применение при строительстве большинства зданий и сооружений, а также применяется при благоустройстве дорог и тротуаров. Бетон, используемый в качестве дорожного покрытия, применяется в местах с повышенными механическими и динамическими нагрузками, а также агрессивными воздействиями окружающей среды [1, с. 27]. Перечисленные факторы приводят к возникновению внутренних напряжений, что значительно сокращает эксплуатационный срок. Немалую роль играет и капиллярно-пористая структура изделий, способствующая интенсивной миграции воды с растворением и выносом на поверхность легкорастворимых соединений цементного камня, таких как гидроксид кальция, как следствие этого – образование белых налетов на поверхности и внутри материала – высолов. Гидроксид кальция имеет существенную растворимость (1,13 г/л, 20 °С), что приводит к выносу его на поверхность материала, где взаимодействуя с углекислым газом  $\text{CO}_2$ , карбонизируется по схеме 1:



Высолы не только ухудшают внешний вид, но и производят существенные изменения свойств материала с его интенсивным разрушением за счет многократной перекристаллизации солей и изменением их объема. Происходит нарушение внутренней структуры материала, снижается его целостность, ускоряется трещинообразование и понижается прочность [2, с. 320].

Разработка способов повышения прочности и снижения высолообразования на строительных изделиях, в том числе дорожных покрытиях из тяжелого бетона является весьма актуальной задачей, поскольку позволяет не только улучшить эксплуатационные характеристики изделий, но и существенно облагородить состояние поверхностей.

## *2. Модифицирование микрокремнеземом*

Анализ существующих способов борьбы с высолами [3, с. 130] показал, что большинство методов неприемлемы для бетонов, используемых в дорожном покрытии. В связи с этим наиболее оптимальным решением является оптимизация составов путем введения активных добавок.

Ультрадисперсная добавка – микрокремнезем, являясь отходом производства, имеет высокую удельную поверхность (20 000 см<sup>2</sup>/г, при сравнении – цемент имеет уд. поверхность 2800 см<sup>2</sup>/г). Положительное действие в цементных композициях объясняется реакцией пуццоланизации, в результате которой происходит химическое связывание гидроксида кальция Ca(OH)<sub>2</sub>, с выделением дополнительных кристаллов гидросиликатов кальция (схема 2), составляющих цементный гель [4, с. 257].



## *3. Результаты и обсуждения*

В качестве дорожного покрытия используются жесткие смеси, с низким содержанием воды, и производство ведется, в основном, по технологии вибропрессования. Так как в лабораторных условиях было невозможно воссоздать все условия, то вибрирование было заменено на повышенное удельное усилие при процессе прессования. Для исследований изготавливались образцы из жесткой

цементно-песчаной смеси высотой 60 мм. Цилиндрическую пресс-форму диаметра 70 мм заполняли ЦПС и затем прессовали образец с удельным усилием 20 МПа. После чего образец извлекался, накрывался влажной тканью. Механические испытания производились на 7 сутки. Для ускоренного испытания на высолообразование образцы помещались в емкость с дистиллированной водой, уровень которой поддерживался на 1/3 высоты цилиндров и оставлялись на обдув потоком воздуха вентилятора в течении 6 суток.

На поверхности контрольных образцов происходит образование большого количества гидроксида кальция (рис. 1).

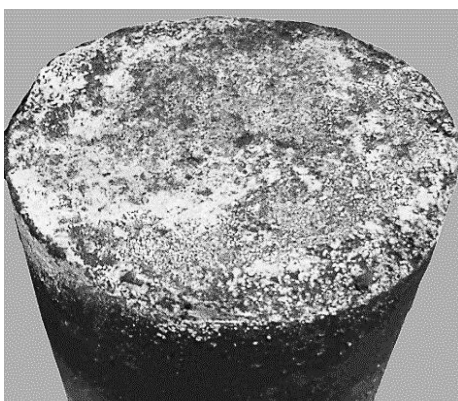


Рис. 1. Внешний вид контрольного образца после ускоренного испытания на высолообразование

Кристаллы гидроксида кальция обладают меньшей прочностью, чем гидратированные силикаты кальция C-S-H, что предопределяет более низкие механические показатели контрольных образцов, изготовленных без микрокремнезема (таблица 1).

Таблица 1

*Показатели предела прочности на сжатие*

№ состава	Образец	$R_{сж\ сред},$ МПа	Увеличение в сравнении с контрольным образцом, %
1	Контрольный	12,83	-
2	Опытный с МК-85 (содержание МК 8% от массы портландцемента) с пластификатором «Sika»	23,1	80
3	Опытный с МК-85 (содержание МК 8% от массы портландцемента) без пластификатора	16,46	28

По результатам работы можно наблюдать, что введение микрокремнезема МК-85 в количестве 8% от массы портландцемента с пластификатором повышает прочность на сжатие на 80%. Это связано со связыванием свободного гидроксида кальция, который имеет пластинчатые кристаллы, обладающие малой прочностью и высокой растворимостью в воде, в гидросиликаты кальция, которые имеют большую прочность и в десятки раз меньшую растворимость, чем гидроксид кальция. Кроме того, введение микрокремнезема позволяет понизить пористость вследствие повышения плотности материала дополнительными объемами гидросиликатов кальция, тем самым блокируя образование высолов (рис. 2).

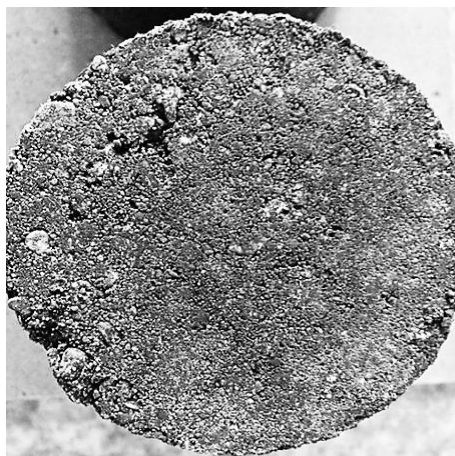


Рис. 2. Внешний вид образца с микрокремнеземом МК-85 и с пластификатором после ускоренного испытания на высолообразование

Пластификатор в цементно-песчаную смесь добавляется в целях уменьшения водопотребности, повышения подвижности смеси, улучшения уплотняемости смеси при прессовании. Поскольку микрокремнезем, имея малый размер частиц в сравнении с частицами цемента, имеет свойство уплотнять структуру цементного камня, была изготовлена опытная партия образцов без пластификатора. Однако, отсутствие пластификатора в составе влияет на пористость и плотность материала, что сказывается на прочности на сжатие (таблица 1) и на стойкости к высолообразованию (рис. 3).



Рис. 3. Внешний вид образцов состава с микрокремнеземом МК-85 и без пластификатора после ускоренного испытания на высолообразование

После выдержки образцов в условиях ускоренного испытания на высолообразование анализ микроструктуры немодифицированного бетона показал высокую пористость (рис. 4а). В структуре так же отмечаются интенсивные проявления солей на поверхности гидросиликатов кальция (рис. 4б). Добавление микрокремнезема с водой затворения в состав цементного теста существенно изменяет микроструктуру материала, в которой формируются гидросиликаты кальция игольчатой структуры (рис. 4в).

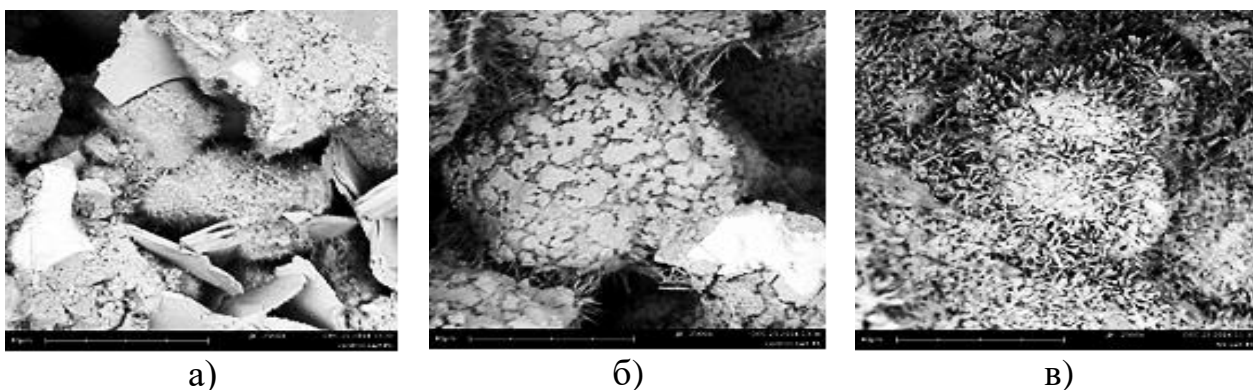


Рис. 4. Микроструктура образцов с высолами на поверхности новообразований:  
а, б – контрольный образец; в – образец с добавлением микрокремнезема МК-85 в сочетании с пластификатором

Добавление микрокремнезема МК-85 в сочетании с пластификатором способствует образованию гидросиликатов кальция меньшей основности. Это характеризуется экзотермическим эффектом, проявляемым на линии ДСК (рис. 5)

при температуре 930 °С, соответствующим кристаллизации безводного силиката кальция [5, с. 265].

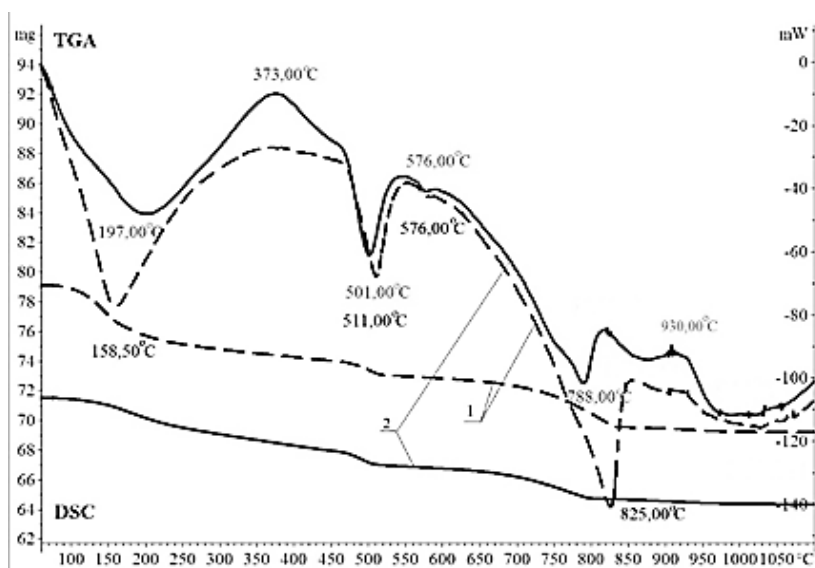


Рис. 5. Дифференциально-сканирующая калориметрия образцов после высолообразования: 1 – контрольный образец; 2 – образец с микрокремнеземом МК-85 в сочетании с пластификатором

На линии TGA у модифицированных образцов отмечается меньшее количество связанной воды, которая вследствие ступенчатой дегидратации удаляется как при низких, так и при высоких температурах. Эндотермические эффекты на границах температур 700–850 °С подтверждают образование гидросиликатов кальция разной основности. При этом удаление кристаллогидратной воды в контрольном образце происходит при температуре 825 °С, а в образце с микрокремнеземом происходит при температуре 788 °С.

#### 4. Заключение

Данная работа доказывает, что использование микрокремнезема в качестве модифицирующей добавки позволяет получать бетон с высокими эксплуатационными характеристиками: высокой прочностью на сжатие, долговечностью, меньшей пористостью, повышенной водонепроницаемостью и пониженным высолообразованием. Микрокремнезем при этом формирует структуру с гидросиликатами кальция, которые имеют более низкое, в сравнении с контрольными составами, соотношение между C/S и существенно больший объем кристаллов C-S-H, дополнительно уплотняющий структуру цементного камня. Плотная

структура камня предотвращает миграцию растворимых веществ в изделиях, образование высолов сдерживается связыванием гидроксида кальция микрокремнеземом, обладающим высокой удельной поверхностью.

Отсутствие пластификатора в составе прессуемых смесей сказывается отрицательно, так как ухудшается прессуемость изделий, при этом увеличивается пористость цементного камня, что способствует миграции влаги и растворов солей по капиллярной системе с образованием высолов на поверхности. Кроме того, использование пластификаторов позволяет улучшить распределение частиц микрокремнезема в объеме смеси, что способствует однородности структуры цементного камня и повышению прочности изделий.

### *Список литературы*

1. Peck M., Bosold D., Richter T. Ausbluhungen. Zement-Merkblatt Betontechnik // Zement-Merkblatt Betontechnik. – 2013. – P. 27.

2. Фрессель Ф. Ремонт влажных и поврежденных солями строительных сооружений. – М.: Пэйнт-Медиа. – 2006. – С. 320.

3. Малюкова М.В. Вибропрессованные плиты бетонные тротуарные с полифункциональной матрицей: диссертация. – 2014. – С. 130.

4. Bolte G., Dienemann W. Efflorescence on concrete products – causes and strategies for avoidance // ZKG International. – 2004. – Vol. 57 (9). – P. 78–86.

5. Laukaitis A. Influence of Amorphous Nanodispersive SiO<sub>2</sub> additive on structure formation and properties of autoclaved aerated concrete // Materials Science (Medziagotyra). – 2010. – Vol. 16 (3). – P. 257–263.

6. Горшков В.С. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы: структура и свойства: Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1994. – С. 265.