

## **ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ МОЛОТОГО КЛИНКЕРА В ТЕХНОЛОГИИ СУХОГО ФОРМОВАНИЯ**

*ЯКИМОВИЧ Г. Д.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

**Аннотация.** Данная статья посвящена вопросам влиянию тонкодисперсных минеральных добавок, а именно микрокремнезёма и молотого кварца, на свойства быстрохватывающегося клинкерного вяжущего. Установлено их влияние на прочностные характеристики и выделены рациональные пределы использования.

Изучение технологии сухого формования на данный момент привело к нахождению рациональной области её применения, а именно к ускоренному формованию тонкослойных декоративных изделий или тонкостенных мелкоштучных стеновых блоков.

На данный момент разработана малоэнергоёмкая технология изготовления изделий, обеспечивающая достаточную прочность и морозостойкость мелкозернистых смесей на бездобавочном клинкере.

Однако, результаты, полученные профессором Батяновским [1], позволяют сделать предположение о более высоком потенциале данной технологии, чем он достигнут на сегодняшнем этапе. Для повышения прочности и долговечности изделий проводится серия экспериментов по применению минеральных и химических добавок.

Как было выяснено ранее [2], отсутствие в составе цемента добавки гипса существенно влияет на прочностные характеристики вяжущего, а соответственно, и на процесс структурообразования цементного камня. Связано это с тем, что в присутствии сульфат-ионов гипса, контактная зона цемента с заполнителем содержит поры, заполненные этtringитом [3], являющимся источником внутренних напряжений в бетоне и ухудшающим контакт цемента с заполнителем.

Пуццолановые добавки, содержащие аморфный кремнезём, связывают свободный  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , тем самым делая образование этtringита невозможным. Помимо этого, ускоряется процесс растворения  $\text{C}_3\text{S}$ , что в свою очередь ускоряет процесс набора прочности.

Отсутствие гипса в составе вяжущего убирает саму возможность образования этtringита, однако наличие свободного гидроксида кальция оставляет возможность применения активных минеральных добавок для упрочнения клинкера. Посему, необходимо доскональное изучение влияния химических и минеральных добавок на процесс твердения цементного клинкера.

Микрокремнезём – известная высокоактивная минеральная добавка, являющаяся побочным продуктом металлургической промышленности, аморфным кремнезёмом в виде маленьких шарообразных частиц. Микрокремнезём имеет крайне высокую удельную поверхность, от 13 до 25 тысяч  $\text{m}^2/\text{kg}$ , поэтому он активно вступает в химическую реакцию со свободным  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Образование гидросиликата кальция увеличивает прочность цементного камня, а также снижает высолообразование.

Согласно различным исследованиям [4, 5], значительный (более 85%) прирост прочности бетона наблюдается при дозировке микрокремнезёма до 30-40%. Это позволяет сокращать расход цемента до 40%. С учётом стоимости добавки такие дозировки могут быть оправданы исключительно с экологической точки зрения и не приносят экономической выгоды. Поэтому, установление зависимости между расходом добавки и ростом прочности является необходимым для нахождения оптимума использования добавки.

При исследовании проверялся полный ряд дозировок микрокремнезёма: 0,1, 0,5, 1, 5, 10, 15, 20% от массы молотого клинкера. Испытания проводились на образцах-кубах ребром 20 мм. Образцы уплотнялись ручным методом с нагрузкой 5  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . Подвод воды осуществлялся с двух сторон, с градиентом давления 0,02 Мпа.

После распалубки образцы выдерживались в камере НВТ в течение 4 часов, после его опускались под воду и испытывались в возрасте 3, 7, 14 и 28 суток. Водоцементное отношение образцов при полном насыщении оставило 0,18–0,2.

Прочность образцов представлена в табл. 1. На графике 1 представлена зависимость прочности от дозировки микрокремнезема

для образцов с дозировками 0,1, 0,5 и 1% по сравнению с контрольными бездобавочными.

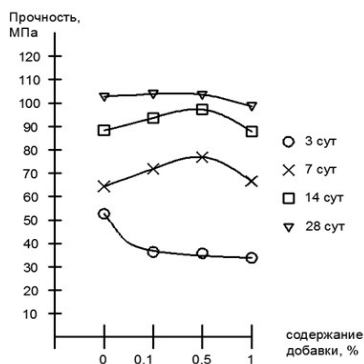


Рис. 1. Зависимость прочности образцов от дозировки микрокремнезёма

Согласно полученным данным можно установить, что дозировка микрокремнезёма свыше 5% приводит к падению прочности, пропорциональному повышению дозировки. Оптимальной дозировкой при этом является дозировка 0,5%, приводящая к 18% увеличению прочности в возрасте 7 суток. В возрасте 28 суток положительный эффект полностью отсутствует. Полученные результаты значительно отличаются от результатов испытаний портландцемента и позволяют выделить область рационального применения добавки в технологии сухого формования смесей на цементном клинкере.

Несмотря на то, что микрокремнезём является побочным продуктом и загрязняющим отходом металлургии, его положительные свойства вызвали высокий спрос, который серьёзно поднял цены на него, что вызывает интерес к поиску более дешёвых альтернатив. Одним из которых является молотый кварцевый песок, содержащий более 99% аморфного кремнезёма. Кварцевые пески среди всех естественных источников кремнезёма характеризуются высокой пуццолановой активностью, ненамного уступающей вулканическому пеплу [6]. Для активации добавки необходимым является размол кварцевого до удельной поверхности свыше 3000 см<sup>2</sup>/г. Помимо этого, широкая распространённость кварцевого песка делает его крайне доступной добавкой, в 5 раз дешевле микрокремнезема.

Формование образцов осуществлялось способом, аналогичным образцам с микрокремнезёмом, с дозировками 5, 10, 15 и 20%. Водоцементное отношение также находилось в пределах 0,18–0,2.

На рис. 2 представлена зависимость прочности от дозировки молотого кварца по сравнению с контрольными бездобавочными.

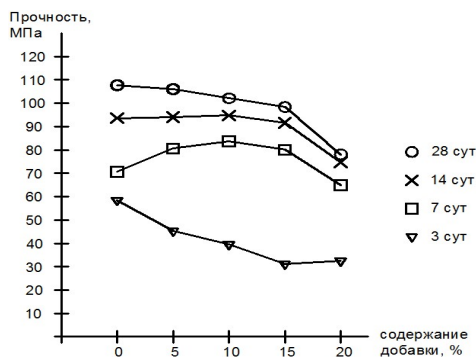


Рис. 2. Влияние дозировки молотого кварца на прочность клинкера

Для всех дозировок ниже 15% характерны падение прочности в возрасте 3 суток и серьёзный рост (не менее 13%), при этом наибольшую эффективность показала 10% дозировка молотого кварца, приводящая к увеличению на 18,7% по сравнению с бездобавочным.

При этом, в возрасте 3 суток, как и в случае с микрокремнезёмом, наблюдается падение прочности в пределах 40%. Также, к 28 суткам наблюдается замедление темпов набора прочности и даже небольшое падение.

Рыночная стоимость молотого кварца ниже стоимости цемента, что позволяет замещать часть клинкера, получая не только экологический, но также и экономический эффект. В сочетании со снижением стоимости вяжущего за счёт отсутствия в его составе дорогостоящего гипса и снижением расхода вяжущего за счёт увеличения активности, использование технологии сухого формования может позволить обеспечить снижение себестоимости мелкоштучных бетонных изделий до 30%.

**Выводы. 1.** В ходе проведенной работы найдена рациональная область использования активных минеральных добавок в технологии сухого формования бетона. **2.** Показана перспективность при-

менения активных минеральных добавок природного происхождения. 3. Намечены основные пути дальнейшего совершенствования составов смесей в технологии сухого формования.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батяновский Э. И. Особо плотный бетон сухого формования. - Мн.: НПООО «Стринко», 2002. - 224 с.

2. Технология ускоренного формования мелкоштучных изделий методом сухого формования и вакуумирования // Сборник статей II Международной научной конференции "Актуальные проблемы исследования материалов, конструкций, технологий и организации строительства в трансграничном аспекте", 18—20 октября 2017 года / [редколлегия: С. М. Семенюк и др.]

3. Malhotra, V.M. and Mehta, P.K. (1996) Pozzolan and Cementitious Materials, Gordon and Breach, ISBN 2-88-449-211-9, 191 p.

4. Дрянин Р. А., Сехпосян Г. П., Ананьев С. В., Калашников В. И. Влияние содержания микрокремнезема на повышение прочности реакционно-порошковых бетонов // Молодой учёный – 2014 - №13 с.44-47.

5. Микрокремнезем отход или современная добавка/ Дубенский М.С., Каргин А.А.// Вестник КузГТУ, 2012, №1. С. 119-120 6. Бисултанов, Рамазан Гиханович. Модифицированные бетоны на композиционном вяжущем с использованием тонкодисперсных наполнителей : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.05 / Бисултанов Рамазан Гиханович; [Место защиты: Дагестан. гос. техн. ун-т]. - Грозный, 2016. - 203 с.