

УДК 691.3:666.9-121:544.463

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ПУТЕМ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ЕГО КОМПОНЕНТОВ

*д.т.н., проф. Большаков В.И., асп. Елисеева М.А.,
д.т.н., проф. Щербак С. А.*

*Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская
государственная академия строительства и архитектуры»*

Постановка проблемы. Одним из наиболее востребованных строительных материалов является бетон. Перспективная его разновидность - мелкозернистый бетон, который выгодно отличается от обычного тяжелого бетона более однородной тонкодисперсной высококачественной структурой, высокой технологичностью приготовления и уплотнения мелкозернистой бетонной смеси, что дает возможность формировать конструкции и изделия методами, неприемлимыми для бетона с крупным заполнителем (литье, вибропрессование, роликковое формование и др.) и получать, таким образом, широкую номенклатуру эффективных изделий [1, 2].

Однако, вследствие отсутствия крупного заполнителя и, соответственно, большей концентрации мелкого заполнителя, характеризующегося более высокой удельной поверхностью и пустотностью, чем щебень или гравий, для получения равнопрочного и равноподвижного мелкозернистого бетона обычному бетону на крупном заполнителе по традиционной технологии изготовления необходимо увеличивать расход цемента на 15 – 40 % и воды на 15 – 25%. Применение таких мер помимо повышения себестоимости мелкозернистого бетона, приводит еще и к росту его усадочных деформаций (усадки и ползучести), снижению модуля упругости и повышению трещиностойкости [2, 3 – 6]. Эти факторы сдерживают широкое использование мелкозернистого бетона в строительной практике. Поэтому необходим новый подход к решению этих проблем, который бы учитывал особенности данной разновидности бетона.

Анализ последних исследований и публикаций. На сегодняшний день разработаны и предложены различные способы повышения прочности мелкозернистого бетона без перерасхода цемента. В частности, применение эффективных способов уплотнения мелкозернистой бетонной смеси [3 – 4, 7 – 9], введение комплексных химических добавок [10, 11], тонкодисперсных минеральных наполнителей [12, 13], использование дисперсного армирования [2, 14], обогащение заполнителя, т.е. его отмывка от загрязняющих примесей и классификация с целью улучшения гранулометрического состава заполнителя и повышения плотности упаковки его частиц [13, 15 – 16].

Но, особый интерес представляет метод механохимической активации либо исходных составляющих бетона, либо готовой бетонной смеси [17 – 18]. Так как, в этом случае, одновременно происходит и обогащение компонентов бетона (очистление их частичек от загрязняющих веществ и др.) и их механическая активация (образование свежих поверхностей, изменение

энергетического состояния материала) [17]. Механохимическая активация позволяет более полно раскрыть потенциал скрытых возможностей материалов благодаря повышению их химической активности и, таким образом, решить две важнейшие проблемы строительства: повышение механических и эксплуатационных свойств готового изделия и снижение расхода составляющих компонентов этого изделия, в данном случае мелкозернистого бетона [19].

Цель статьи. Проанализировать механизм механического воздействия на твердые тела при их механохимической активации в измельчителе с целью определения целесообразности применения этого метода для повышения химической активности, прочности и улучшения других свойств мелкозернистого бетона.

Изложение основного материала. Среди многочисленных видов механической обработки твердых тел – вальцование, перетирание, перемешивание, создание высокого давления, продавливание через отверстия и пр. – наибольшее распространение получил способ измельчения [20].

Для его осуществления применяются различного принципа действия измельчители – активаторы: мельницы со свободными или закрепленными мелющими телами, аппараты без мелющих тел – струйные и ударно-центробежные мельницы, дезинтеграторы [21]. К основным способам механического разрушения частичек твердого материала при измельчении относятся раскалывание, истирание, раздавливание, свободный или стесненный удар и др. На практике, в измельчающем агрегате происходит комбинация нескольких способов, наиболее распространенными среди которых являются раздавливание и истирание (шаровая мельница), удар и раздавливание (дезинтегратор) [22].

В большинстве случаев, измельчающее оборудование используют с целью уменьшения исходных размеров обрабатываемого материала и увеличения его удельной поверхности. Однако перспективным представляется и его использование в качестве активатора неорганических веществ. Так как исследование явлений, происходящих при измельчении, показывает, что в результате увеличения удельной поверхности и, следовательно, повышения поверхностной энергии измельчаемого материала увеличивается запас его энергии, т.е. происходит его активация, а при особо тонком измельчении (диспергировании) в результате высокого скопления энергии в помольной камере и взаимодействия в этой среде мелющих тел с частицами измельчаемого материала происходит не только изменение размеров обрабатываемых частиц и их энергетического состояния, но и изменение их физического строения, химических свойств, т.е. механохимическая активация материала [21, 23].

Механо- или механохимическая активация – это сложный многоступенчатый наследственно необратимый процесс протекания ряда физико-химических реакций в материале в результате механического воздействия на него [23]. Так, при ударе и трении, основных способов механического воздействия на минеральные вещества, процесс измельчения сопровождается переходом механической энергии движения тел в

молекулярное движение, которое распределяется на теплоту, свет, электрические явления, экзо- и механоэмиссию электронов и пр. [20, 24].

В соответствии с обобщенной теорией Гриффитса – Орована – Ребиндера, измельчение происходит в несколько этапов, основными из которых являются [20, 25]:

- образование достаточного количества дефектов для создания локальных концентраций напряжений в объеме деформированной частицы твердого тела;

- появление и развитие зародышевых микротрещин, которые способствуют разрыву целостности кристаллической решетки микрочастицы;

- возникновение на основе зародышевых микротрещин магистральной трещины, вызывающей разрушение микрообъема твердого тела.

Для глубокого понимания процесса диспергирования (тонкого измельчения) и активации обрабатываемого материала рассмотрим более подробно принцип механического воздействия на твердые вещества.

При ударе частички разрушаемого материала, движущейся с большой скоростью, о твердую поверхность измельчителя возникает вначале упругая деформация, затем пластическая, а в месте контакта частички с мелющим телом, в зоне субмикроскопической деформации происходит накопление энергии, образуются так называемые “сгустки энергии”, на очень короткое время возникают высшие возбужденные состояния частицы. Это является следствием того, что напряжения от действия упруго-пластической деформации вызывают образование различного рода дефектов в твердом материале. Это могут быть дефекты, сосредоточенные в границах микроструктуры (смещенные атомы, напряженные и деформированные связи, точечные дефекты и пр.), или дислокации и дефекты, сосредоточенные в пределах макроструктуры типа микротрещин и границ раздела между структурными элементами (одномерные и двумерные дефекты). Все они обладают запасом “избыточной энергии”. На образование микродефектов необходимы большие затраты энергии. Например, для образования точечных дефектов требуется затратить от 10^{-9} до 10^{-18} Дж энергии. При повышении температуры эти дефекты достаточно быстро исчезают. Макродефекты менее энергоемкие и более устойчивые. Они имеют значительное влияние на процесс появления пластического течения (ползучести) твердого материала [24].

При достаточном количестве дефектов и достижении предельного внутреннего напряжения, сосредоточенного в ограниченном объеме твердого тела происходит слияние этих дефектов, дислокаций, в результате чего появляются микротрещины, вызывающие разрыв целостности кристаллической решетки микрочастицы, так как в ходе этих процессов разрываются межатомные связи в молекулах разрушаемого вещества. При распространении микротрещины в объеме измельчаемого материала и пересечении ею всего объема этого вещества происходит его разрушение и образование свежей поверхности материала [19, 25].

С уменьшением размеров частиц разрушаемого материала увеличивается число их контактов и возникают локализованные предельные напряжения в микрообъеме частицы, вызывающие образование трещин. При взаимодействии

рабочего органа измельчителя с множеством мелких тонкодисперсных частиц передаваемая им нагрузка в области контакта дифференцируется между всеми частицами достаточно равномерно и не вызывает в них предельных разрушающих напряжений, а приводит лишь к разупорядочению структуры поверхностного слоя. При этом, большая часть подводимой механической энергии превращается в тепловые и вибрационные потери [21]. При повторении удара в том же месте разупорядочение структуры слоя и деформирование частички увеличивается [19].

Также известно, что с уменьшением размеров измельчаемых частиц повышается их прочность. Это связано с тем, что, чем мельче частицы материала, тем более совершенной микроструктурой (кристаллической решеткой) они обладают и тем, ниже их дефектность [24, 25].

Таким образом, для тонкодисперсных частиц разрушение наступает вследствие накопления определенной величины деформаций, за которой начинается рост трещины, а затем разрушение твердого тела и имеет характер усталостного разрушения [19, 21, 23]. При достижении предельно-минимального размера частиц конкретного материала наступает их пластическое течение и начинается процесс агрегирования частиц, в то время как процесс диспергирования прекращается [24].

Активация же материала при наличии большого количества контактов между частицами, возникновении их пластического течения и агрегации, наоборот, усиливается, что способствует дефектообразованию, повышению реакционной способности и механохимических реакций вещества, вследствие чего создается наибольшая активность обрабатываемого материала.

Таким образом, для интенсификации процесса активации вещества требуется обеспечение таких условий, при которых достаточно быстро наступало бы пластическое течение измельчаемого материала. Для этого нужно увеличить механические параметры измельчителя (скорость нагружения, увеличения мощности и др.) [24]. Известно, что чем больше число соударений ударных элементов с частицами измельчаемого материала, чем выше скорость ударов и чем меньше интервал между ударами, тем выше возникающая активность материала [26].

Влиять на эффективность диспергирования и активации можно путем изменения условий, при которых они осуществляются, то есть изменяя температуру, среду измельчения, или путем введения поверхностно-активных веществ (ПАВ). Так, при низких температурах процесс диспергирования усиливается. Такой же эффект наблюдается при введении ПАВ или небольшого количества воды (от 0,04 до 1 %). В случае активации необходимо выполнение обратных действий: высокие температуры ускоряют наступление пластического течения частиц материала, а введение ПАВ и малого количества воды замедляют этот процесс [24].

Механохимическая активация материалов является альтернативой термической активации многих материалов, особенно минерального сырья, содержащего большое количество CaO и SiO₂. Этот способ позволяет активизировать их реакции и, таким образом, уменьшить длительность тепловой обработки как исходного сырья, так и готового изделия или

отказаться от этого наиболее энергоемкого процесса в строительстве вообще. Так, по данным работы [26] при одинаковом производственном объеме сходных бетонных изделий, бетон на основе механоактивированного сырья в дезинтеграторе характеризуется в 1,6 раза меньшим расходом топливной энергии, в 2,8 раза меньшим расходом электроэнергии, в 2,2 раза меньшей трудоемкостью и в конечном счете является в 2,1 раза дешевле.

Выводы. Механохимическая активация компонентов сырьевой смеси мелкозернистого бетона путем их измельчения, при оптимальных условиях, ее проведения позволяет значительно повысить химическую активность этого сырья и, тем самым исключить, либо уменьшить, продолжительность тепловой обработки мелкозернистого бетона на основе механоактивированного сырья, что значительно снижает энергозатраты на его производство. Кроме того, механическая активация обеспечивает обогащение измельчаемых материалов, что повышает прочность сцепления этих активированных компонентов бетона. Все это приводит к увеличению прочности мелкозернистого бетона, снижению расхода вяжущего при обеспечении заданного качества бетона, а в некоторых случаях и к получению его новых полезных свойств.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Мирюк О.А. Мелкозернистые бетоны на основе техногенного заполнителя / О.А. Мирюк // Бетон и железобетон в Украине. – 2010. – № 2. – С. 5 – 8.
2. Способы повышения прочности песчаных бетонов / Н.М. Морозов, И.В. Боровских, В.Г. Хозин, Х.Г. Мугинов // Науковий вісник будівництва. – Харків, 2010. – Вип. 59. – С. 126 – 130.
3. Баженов Ю.М. Многокомпонентные мелкозернистые бетоны / Юрий Михайлович Баженов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – № 10. – С.24.
4. Сахаров Г.П. Экструдированный мелкозернистый бетон с повышенными качественными показателями / Г.П. Сахаров // Бетон и железобетон. – 2010. – № 4. – С. 2-7.
5. Муртазаев С.-А.Ю. Использование местных техногенных отходов в мелкозернистых бетонах / С.-А.Ю. Муртазаев, З.Х. Исмаилова // Строительные материалы. – 2008. – № 3.– С. 57.
6. Волокитин Г.Г. Свойства мелкозернистых бетонов при их затворении суспензиями, полученными при электроимпульсном дроблении горных пород / Г.Г. Волокитин, В.И. Курец, Д.В. Шабанов // Строительные материалы. – 2007. – № 7.– С. 16-17.
7. Гусев Б.В. Свойства мелкозернистых бетонов при различных способах уплотнения / Б.В. Гусев, И.Н. Минсадров, В.Д. Кудрявцева // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 5. – С. 48-50.
8. Львович К.И. Практика и перспективы использования песчаного бетона в строительстве / К.И. Львович, В.Л. Уткин // Строительная газета. – 2005. – № 41. – С. 7
9. Чаус К.В. Мелкозернистые вакуумбетоны / К.В. Чаус // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2004. – № 12. – С. 18 – 19.

10. Ананенко А.А. Мелкозернистые бетоны с комплексными модификаторами / А.А. Ананенко, В.В. Нижневясов, А.С. Успенский // Изв. вузов. Строительство. – 2005. – № 5. – С. 42 – 45.
11. Кафтаева М.В. Влияние модифицирующих добавок системы “Релаксол” на свойства пресованных цементных бетонов / М. В. Кафтаева // Изв. вузов. Строительство. – 2007. – № 19. – С. 31 – 34.
12. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / [Л.И. Дворкин, В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, С.М. Чудновский]: под ред. Л.И. Дворкина. – К.: Будівельник, 1991. – 136 с.
13. Морозов Н.М. Песчаный бетон высокой прочности / Н.М. Морозов, В.Г. Хозин // Строительные материалы. – 2005. – № 11. – С. 25 – 26.
14. Миронков Б.А. Мелкозернистый бетон в гражданском строительстве Санкт-Петербурга / Б.А. Миронков, В.С. Стерин // Бетон и железобетон. – 1993. – № 10. – С. 16 – 20.
15. Лесовик Р.В. Пути повышения эффективности мелкозернистого бетона / Р.В. Лесовик, А.И. Топчиев, М.С. Агеева [и др.] // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2007. – № 7. – С. 16 – 17.
16. Львович К.И. Выбор песков для песчаного бетона / К.И. Львович // Бетон и железобетон. – 1994. – № 2. – С. 12 – 16.
17. Гусев Б.В. Интенсификация приготовления бетонной смеси / Б.В. Гусев, Э.Х. Кушу // Бетон и железобетон. – 1989. – № 7. – С. 6 – 7.
18. Лемехов В.Н. Эффективная технология мелкозернистых бетонов / В.Н. Лемехов, А.М. Кадилаев, Гаценко В.И. // Бетон и железобетон. – 1993. – № 7. – С. 17 – 19.
19. Барабаш І.В. Механохімічна активація в'язучих речовин: [навч. посібник] / Іван Васильович Барабаш. – Одеса: Астропринт, 2002. – 100 с.
20. Молчанов В.И. Физические и химические свойства тонкодиспергированных минералов / В.И. Молчанов, Т.С. Юсупов. – М: Недра, 1981. – 160 с.
21. Дугуев С.В. Тонкое и сверхтонкое измельчение твердых материалов– путь к нанотехнологиям / С.В. Дугуев, В.Б. Иванова // Строительные материалы. – 2007. – № 11. – С. 29 – 31.
22. Денисов В.А. Энергосберегающие устройства для измельчения сырья в решении проблемы создания безотходных производств / В.А. Денисов // Строительные и дорожные машины. – 2006. – № 5. – С. 38 – 41.
23. Молчанов В.И. Активация минералов при измельчении / В.И. Молчанов, О.Г. Селезнева, Е.Н. Жирнов. – М.: Недра, 1988. – 208 с.
24. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов / Е.Г. Аввакумов. – [2-е изд., перераб. и доп.]. –Новосибирск: “Наука”, 1986. – 305 с.
25. Веригина Я.Ю. Развитие теоретических представлений о процессах измельчения материалов до тонкодисперсного состояния / Я.Ю. Веригина // Изв. вузов. Строительство. – 2010. – № 3. – С. 106 – 111.
26. Хинт И.А. О принципиальных проблемах механической активации / И.А. Хинт // Научно-информационный сборник СКТБ “Дезинтегратор”. – [2-е изд.]. –Талинн: “Валгус”, 1980. – С. 36 – 52.