ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРЫ И ЗОЛЫ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

Пирматов Рахматулло Хамидуллаевич
к.т.н., профессор, Ташкентский государственный транспортный университет

Матякубов Дониёр Фарход угли
выпускник магистратуры, Ташкентский международный университет Кимё,
Республика Узбекистан
DOI:https://doi.org/10.5281/zenodo.22977723

Актуальность.

Цементный бетон остаётся одним из наиболее востребованных строительных материалов благодаря доступности сырья, технологичности и высокой прочности при сжатии. Вместе с тем его сравнительно низкая прочность при растяжении, хрупкость и склонность к образованию трещин ограничивают эксплуатационные характеристики материала. Трещины, возникающие под действием нагрузок и деформаций, облегчают проникновение в бетон внешних агрессивных сред и тем самым могут снижать его долговечность. Поэтому одним из актуальных направлений современного строительного материаловедения является разработка способов комплексного улучшения структуры и свойств цементных композитов, как за счёт армирования, так и за счёт модификации самой цементной матрицы.

Ключевые слова: цементный бетон, базальтовая фибра, зола рисовой шелухи, дисперсное армирование, пуццолановая активность, трещиностойкость, прочность, долговечность.

Цель и задачи.

Цель работы – на основе анализа современных научных исследований рассмотреть механизмы влияния базальтовой фибры и золы рисовой шелухи (Rice Husk Ash, RHA) на структуру и эксплуатационные свойства цементного бетона и оценить перспективность их совместного применения. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

– рассмотреть механизм работы базальтовой фибры как дисперсной арматуры цементной матрицы;

– рассмотреть природу пуццолановой активности золы рисовой шелухи и факторы, от которых она зависит;

– определить технологические ограничения, связанные с введением каждого из компонентов;

– оценить обоснованность предположения о комплексном (синергетическом) эффекте совместного применения компонентов в цементном бетоне;

– сформулировать направления дальнейших экспериментальных исследований.

Дисперсное армирование базальтовой фиброй.

Одним из перспективных способов повышения эксплуатационных характеристик бетона является дисперсное армирование. Базальтовая фибра обладает высокой механической прочностью, химической и термической стойкостью. Обзорные работы [1–3] охватывают свойства бетонной смеси, механические характеристики и долговечность базальтофибробетона.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Наиболее важная особенность работы фибры проявляется при образовании трещин: волокна, пересекающие трещину, препятствуют её дальнейшему раскрытию и передают часть возникающих напряжений через контактную зону «волокно–цементная матрица». В результате повышается сопротивление развитию трещин, растяжению и изгибу, а также увеличивается способность материала воспринимать деформации.

Эффективность базальтовой фибры зависит от её содержания, длины и диаметра, а также от условий перемешивания бетонной смеси. Чрезмерное количество волокна может ухудшать удобоукладываемость смеси и приводить к неравномерному распределению фибры в объёме. Поэтому параметры фибры необходимо подбирать с учётом состава и технологических особенностей конкретного бетона.

Зола рисовой шелухи как активная минеральная добавка.

Вторым перспективным компонентом является зола рисовой шелухи, которая может использоваться как дополнительный цементирующий материал [5]. Её основным преимуществом является высокое содержание диоксида кремния. При правильно выбранных условиях термической обработки значительная часть кремнезёма сохраняется в аморфной форме, что обеспечивает высокую реакционную способность золы [4, 5]. Пуццолановая активность RHA связана с взаимодействием аморфного SiO_2 с гидроксидом кальция, образующимся при гидратации цемента:

$SiO_2 + Ca(OH)_2 + H_2O \rightarrow C–S–H$.

Образование дополнительных продуктов гидратации способствует уплотнению цементной матрицы и потенциальному снижению её проницаемости. Эффективность золы определяется температурой и продолжительностью сжигания, содержанием аморфного SiO_2 и степенью измельчения. Чрезмерное содержание RHA может увеличить водопотребность бетонной смеси и снизить её удобоукладываемость. Основные механизмы воздействия обоих компонентов обобщены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные механизмы воздействия компонентов на цементный бетон

Компонент	Основной механизм воздействия	Ожидаемый эффект
Базальтовая фибра	Дисперсное армирование	Повышение трещиностойкости
Базальтовая фибра	Передача напряжений через границу «волокно–матрица»	Повышение сопротивления растяжению и изгибу
Базальтовая фибра	Ограничение раскрытия трещин	Повышение деформационной способности
Зола рисовой шелухи	Пуццолановая реакция	Формирование дополнительных продуктов гидратации
Зола рисовой шелухи	Образование дополнительного C–S–H-геля	Уплотнение цементной матрицы

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Компонент	Основной механизм воздействия	Ожидаемый эффект
Зола рисовой шелухи	Использование вторичного сырья	Снижение расхода традиционного цементного вяжущего

Совместное применение компонентов.

Наибольший научный интерес представляет совместное применение базальтовой фибры и золы рисовой шелухи, поскольку компоненты воздействуют на бетон различными механизмами. Фибра выполняет функцию дисперсного армирования и ограничивает развитие трещин, тогда как RHA воздействует преимущественно на структуру цементной матрицы посредством пуццолановой реакции. Схематически комплексное воздействие можно представить следующим образом:

– RHA → пуццолановая реакция → дополнительный C–S–H-гель → уплотнение матрицы;

– базальтовая фибра → дисперсное армирование → ограничение раскрытия трещин → повышение трещиностойкости;

– совместное применение → комплексное воздействие на матрицу и армирующую систему бетона.

Вместе с тем результаты исследований отдельных компонентов не могут автоматически рассматриваться как доказательство синергетического эффекта их совместного применения в традиционном цементном бетоне. Известно, что совместное использование RHA и базальтового волокна уже исследовалось, в частности, для геополимерных бетонных систем, однако прямой перенос этих результатов на цементный бетон некорректен из-за различий в природе вяжущего. Кроме того, поскольку избыток каждого из компонентов ухудшает удобоукладываемость смеси, при их совместном введении следует ожидать усиления этого влияния, что требует отдельной экспериментальной проверки.

Экологический аспект и региональная значимость.

Перспективность рассматриваемого направления имеет и экологический аспект. Использование золы рисовой шелухи позволяет вовлекать сельскохозяйственные отходы во вторичный оборот и потенциально снижать расход цементного вяжущего. Для Республики Узбекистан особый интерес представляет разработка бетонных композитов с использованием местного базальтового сырья и доступных сельскохозяйственных отходов.

Направления дальнейших исследований.

Для подтверждения комплексного эффекта необходимы специальные экспериментальные исследования с определением оптимального содержания обоих компонентов. Они должны включать сравнение контрольного состава, составов с одной фиброй, с одной золой и с их сочетанием при варьировании содержания, длины и диаметра фибры, а также режима получения, тонкости помола и содержания золы. Оценке подлежат удобоукладываемость смеси, прочность при сжатии, растяжении и изгибе, трещиностойкость, проницаемость и долговечность бетона. Результаты следует интерпретировать с учётом характеристик цемента, заполнителей, фибры и золы.

Выводы.

– Базальтовая фибра преимущественно влияет на трещиностойкость, сопротивление растяжению и изгибу, а также на способность бетона воспринимать деформации.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

– Зола рисовой шелухи благодаря реакционноспособному аморфному SiO_2 проявляет пуццолановую активность, способствует образованию дополнительного C–S–H-геля и уплотнению цементной матрицы.

– Механизмы воздействия компонентов различны, но взаимодополняющи. Совместное применение является перспективным направлением получения трещиностойких, долговечных и ресурсосберегающих цементных композитов, однако синергетический эффект требует экспериментального подтверждения.

– Для Республики Узбекистан данное направление представляет дополнительный интерес из-за возможности использования местного базальтового сырья и сельскохозяйственных отходов.

Литература

1. Zheng Y., Zhang Y.F., Zhuo J., Zhang Y., Wan C. et al. A review of the mechanical properties and durability of basalt fiber-reinforced concrete // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 359. – Article 129360.
2. Al-Rousan E.T., Khalid H.R., Rahman M.K. Fresh, mechanical, and durability properties of basalt fiber-reinforced concrete (BFRC): A review // Developments in the Built Environment. – 2023. – Vol. 14. – Article 100155.
3. Li Y., Zhang J., He Y., Huang G., Li J., Niu Z., Gao B. A review on durability of basalt fiber reinforced concrete // Composites Science and Technology. – 2022. – Vol. 225. – Article 109519.
4. Xu W., Lo T.Y., Memon S.A. Microstructure and reactivity of rice husk ash // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 29. – P. 541–547.
5. Siddika A., Mamun M.A.A., Alyousef R. Rice husk ash as a supplementary cementitious material in concrete – A comprehensive review // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 143. – P. 131–143.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.