

Применение полипропиленовой микрофибры в технологии геополимерного мелкозернистого бетона

Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, М.Ю. Чамурлиев

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза

Аннотация: Рассмотрены преимущества использования полипропиленовой фибры в технологии геополимерного бетона. Установлено, что применение дисперсного армирования позволяет улучшить критичные характеристики для этого вида бетона: прочность, трещиностойкость, усадку. Показано, что важной проблемой использования полипропиленового волокна является получение однородной структуры бетона с фиброй. Исследована эффективность различных способов введения полипропиленового волокна ВСМ в мелкозернистую геополимерную бетонную смесь. Установлено, что наиболее эффективный способ введения волокна – предварительное перемешивание его с увлажненным мелким заполнителем.

Ключевые слова: геополимер, мелкозернистый бетон, дисперсное армирование, полипропиленовая фибра, технология перемешивания, прочность при сжатии, прочность при изгибе, однородность, гранит, шлак.

Применение неметаллической фибры для повышения технико-строительных характеристик бетона – одно из наиболее активно развивающихся направлений технологии портландцементного бетона. При использовании полимерной фибры могут быть достигнуты повышение трещиностойкости, ударной прочности, вязкости разрушения, износостойкости, морозостойкости, сопротивления кавитации, а также снижение усадки и ползучести бетона. Учитывая позитивное влияние полимерной микрофибры на свойства цементного бетона, многие исследователи считают, что за счет введения в состав геополимерного бетона фибры возможно значительное повышение некоторых характеристик этого материала [1-5].

К числу таких характеристик в первую очередь следует отнести прочность при растяжении и трещиностойкость, что важно для геополимерного бетона, для которого, по различным данным характерны высокие значения усадки и хрупкое разрушение, особенно на ранних стадиях структурообразования [1, 4, 6, 7]. В то же время имеются данные о положительном влиянии полипропиленового волокна на прочность

геополимерного бетона в поздние сроки [5]. Авторы исследования [5] установили, что полимерные волокна снижают концентрацию напряжений, увеличивают удельную площадь поверхности и значительно уменьшают средний диаметр пор геополимера.

Сопоставление экспериментальных данных о влиянии стальной и полипропиленовой фибры на свойства геополимерного бетона показало, что полипропиленовое волокно и базальтовое волокно улучшают механические свойства в позднем возрасте, а стальное волокно повышает характеристики бетона не только в поздние, но и в ранние сроки [2, 5]. Отсутствие эффекта упрочнения в ранние сроки при использовании полипропиленового волокна авторы работы [5] объясняют гидрофобностью его поверхности и намного меньшей адгезией с геополимерной матрицей в сравнении со стальной фиброй. За счет лучшей адгезии стальной фибры и геополимерного камня прочность при изгибе при введении стальной фибры в несколько раз выше, чем при использовании полипропиленового волокна. В то же время имеются данные об ускорении твердения геополимерного бетона в ранние сроки при введении в состав бетона полипропиленового волокна. Расхождение выводов о влиянии полимерной фибры на свойства геополимерных материалов можно предположительно объяснить различием свойств полипропиленовой фибры различных производителей, которые за счет модифицирования поверхностных свойств волокон могут изменять их эффективность [8].

Эффективное использование фибры возможно только при равномерном распределении ее в объеме бетона. Технологические проблемы, связанные с обеспечением однородности распределения фибры в смеси, всегда были одним из основных сдерживающих факторов для широкого распространения дисперсного армирования бетонов стальной и неметаллической фиброй. В процессе перемешивания стальная фибра может агрегатироваться в «ежи», а тонкие волокна на полимерной и минеральной основе комкуются. Термодинамические и топологические аспекты этих процессов до

настоящего времени теоретически не изучены. В связи с этим разработка технологии получения однородной фибробетонной смеси ведется не на основе надежной теоретической базы, а эмпирическими методами.

Некоторые авторы [9] считают, что проблему равномерного распределения фибры в объеме бетона невозможно решить с помощью отдельного перемешивания компонентов фибробетона или за счет применения специальных видов смесителей. Однако метод послойного формирования бетона и фибры, который авторы [9] предлагают для получения сталефибробетона, не будет эффективным при использовании полимерной микрофибры диаметром несколько десятых мкм.

Для достижения равномерного распределения полипропиленовой фибры в бетоне используются различные процедуры ее введения в смесь. Установлено, что полипропиленовое волокно комкуется (агрегируется), если оно изначально смешивается с сухими сырьевыми материалами, что приводит к неоднородному распределению фибры и повышенному воздухововлечению смеси [1]. Авторы этой работы для повышения однородности распределения фибры в смеси предложили предварительно смешивать ее со щелочным раствором активатора твердения, температура которого не должна превышать 20 °С. Активатор с добавкой полипропиленового волокна смешивался с сухими компонентами бетонной смеси.

Многие исследователи [1, 2, 4, 5] вводят полипропиленовую фибру в состав геополимерного бетона с раствором щелочного активатора, отмечая, что это обеспечивает более равномерное ее распределение в смеси. В то же время они считают исследуемую фибру гидрофобным материалом, для которого перемешивание с сухими компонентами обычно дает меньшее агрегатирование.

Мнения различных авторов об оптимальной дозировке полипропиленового волокна не совпадают. Так, в работе [2]

экспериментально установлено, что оптимальная дозировка фибры – 3 % от объема бетона. Авторы [1] считают, что дозировка полипропиленового волокна не должна превышать 0,75 %. В работе [3] отмечено, что повышение дозировки фибры более 0,4 % практически не влияет на прочность геополимерного раствора. Значительные различия в оценке оптимальной дозировки полипропиленовой фибры в геополимерных растворах предположительно можно объяснить различиями в свойствах волокон разных производителей.

Результаты наших исследований [3] тонкозернистого геополимерного фибробетона показали, что при дозировке полипропиленового волокна ВСМ длиной 6 мм (производство компании «Си Айрлайд», Россия) до 0,66 % от объема бетона значительно повышается только ударная прочность. При этом за счет использования микрофибры прочность при изгибе возрастает с 4,45 до 5,6 МПа, а прочность при сжатии практически остается на уровне контрольного состава. В результатах этого исследования обращает на себя внимание снижение плотности бетона при введении фибры, что можно объяснить повышением воздухововлечения бетонной смеси, которое является негативным фактором, компенсирующим повышение прочности материала за счет дисперсного армирования.

Анализ результатов различных исследований показывает, что для эффективного использования полимерного микроразмерного волокна в геополимерном бетоне должны быть решены две в значительной степени взаимосвязанные проблемы: комкование фибры при перемешивании смеси и повышение воздухововлечения бетонной смеси при введении микроволокна.

Решение первой проблемы возможно за счет разработки оптимальной процедуры введения фибры в бетонную смесь, а второй – за счет использования поверхностно-активной добавки, повышающей смачиваемость волокна.

Нами были проведены исследования эффективности трех способов введения полипропиленовой фибры ВСМ длиной 6 мм в состав мелкозернистого бетона, изготовленного с применением геополимерного вяжущего:

- перемешивания фибры с готовой бетонной смесью;
- введения фибры в сухую смесь с раствором активатора твердения;
- перемешивания фибры с мелким заполнителем, в который введена часть раствора активатора твердения.

Исследование проводилось на бетонных смесях с соотношением геополимерного вяжущего и мелкого заполнителя, равным 1:2. Вяжущее включало в свой состав измельченные до удельной поверхности $350 \text{ м}^2/\text{кг}$ доменный шлак и отсев дробления гранитного щебня в соотношении 3:1. Для активации твердения вяжущего использовался раствор низкомолекулярного жидкого стекла, расход которого составлял 50 % (в пересчете на сухое вещество) от массы вяжущего. Консистенция мелкозернистых бетонных смесей характеризовалась диаметром расплыва смеси 130-140 мм (по ГОСТ 310.4-81). Дозировка волокна ВСМ составляла 0,5 % от объема бетона.

Из бетонных смесей формовались образцы размером $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$, которые твердели в воздушно-влажных условиях в течение 28 сут. Определялась прочность образцов при изгибе, затем образцы склеивались эпоксидным клеем и повторно испытывались при изгибе [10]. Прочность клеевого шва была выше прочности мелкозернистого бетона, поэтому разрушение образца проходило по бетону. Затем определялась прочность при сжатии полученных половинок балочек. Прочностные характеристики бетона определялись по соответствующим методикам ГОСТ 310.4-81. Результаты определения прочности и их доверительные интервалы ε при уровне значимости $\alpha = 0,05$ приведены в таблице 1.

Таблица № 1

Прочность геополлимерного мелкозернистого фибробетона

Способ введения фибры	Прочность и доверительный интервал, МПа					
	При первом испытании при изгибе		При повторном испытании при изгибе		При сжатии	
	$R_{1и}$	$\pm\varepsilon$	$R_{2и}$	$\pm\varepsilon$	$R_{сж}$	$\pm\varepsilon$
В готовую смесь	2,72	0,44	2,96	0,30	24,96	1,74
С активатором твердения	3,08	0,17	3,37	0,73	27,14	0,98
Во влажном песке	3,37	0,03	4,02	0,61	30,98	0,80

Анализ данных в таблице показывает, что наиболее эффективный способ введения фибры в бетонную смесь – предварительное перемешивание ее с влажным песком. Эта процедура обеспечивает наибольшие значения прочности и их минимальные разбросы, что свидетельствует о более однородном распределении фибры в бетоне. Равномерное распределение фибры в материале обусловлено ее налипанием на влажные частицы песка в процессе перемешивания, что более эффективно, чем диспергирование фибры в растворе активатора. Введение фибры в готовую бетонную смесь дает наименьшую однородность распределения в сравнении с другими способами, несмотря на продолжительное перемешивание, что связано с низкой пластичностью исследованной бетонной смеси.

Литература

1. Zhang Z., Yao X., Zhu H., Hua S., Chen Y. Preparation and mechanical properties of polypropylene fiber reinforced calcined kaolin-fly ash based geopolymer // Journal of Central South University of Technology. 2009. Vol.16, Issue 1. pp. 49-52.
2. Ranjbar N., Talebian S., Mehrli M., Kuenzel C., Metselaar H.S.C., Jumaat M. Z. Mechanisms of interfacial bond in steel and polypropylene fiber

reinforced geopolymer composites // Composites Science and Technology. 2016. Vol. 122. pp. 73-81.

3. Ерошкина Н.А., Саденко С.М., Чамурлиев М.Ю., Коровкин М.О. Влияние полимерной фибры на механические свойства геополимерного раствора // Инженерный вестник Дона, 2017, № 1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4050

4. Al-mashhadani M.M., Canpolat O., Aygörmez Y., Uysal M., Erdem S. Mechanical and microstructural characterization of fiber reinforced fly ash based geopolymer composites // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 167. pp. 505-513.

5. Guo X., Pan X. Mechanical properties and mechanisms of fiber reinforced fly ash–steel slag based geopolymer mortar // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 179. pp. 633-6413.

6. Ерошкина Н.А., Коровкин М.О. Усадка геополимерного вяжущего на различных этапах его структурообразования // Инженерный вестник Дона, 2016, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3620.

7. Ерошкина Н.А., Коровкин М.О. Влияние параметров состава минерально-щелочного вяжущего на прочность и усадку бетона // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 27. С. 78-83.

8. Савелев А.А., Антропова Е.А., Бегун И.А., Решетников В.Г. Фибробетонные конструкции с использованием полимерных волокон «ВСМ-БЕТОН» для объектов транспортного строительства // ЖБИ и конструкции. 2014, № 3. С. 94-99.

9. Маилян Л.Р., Маилян А.Л., Айвазян Э.С. Конвейерная технология фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства // Инженерный вестник Дона, 2013, № 3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1781.



10. Коровкин М.О., Ерошкина Н.А., Янбукова А.Р. Исследование эффективности полимерной фибры в мелкозернистом бетоне // Инженерный вестник Дона, 2017, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4164.

References

1. Zhang Z., Yao X., Zhu H., Hua S., Chen Y. Journal of Central South University of Technology. 2009. Vol.16, Issue 1. pp. 49-52.
2. Ranjbar N., Talebian S., Mehrali M., Kuenzel C., Metselaar H.S.C., Jumaat M. Z. Composites Science and Technology. 2016. Vol. 122. pp. 73-81.
3. Eroshkina N.A., Sadenko S.M., Chamurliev M.Ju., Korovkin M.O. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4050.
4. Al-mashhadani M.M., Canpolat O., Aygörmez Y., Uysal M., Erdem S. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 167. pp. 505-513.
5. Guo X., Pan X. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 179. pp. 633-6413.
6. Eroshkina N.A., Korovkin M.O. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3620.
7. Eroshkina N.A., Korovkin M.O. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura. 2012. № 27. pp. 78-83.
8. Savelev A.A., Antropova E.A., Begun I.A., Reshetnikov V.G. ZhBI i konstrukcii. 2014. № 3. pp. 94-99.
9. Mailjan L.R., Mailjan A.L., Ajvazjan Je.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1781.
10. Korovkin M.O., Eroshkina N.A., Janbukova A.R. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4164.