



Влияния полимерной фибры на механические свойства геополимерного раствора

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

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза

Аннотация: Исследовано влияние дозировки дисперсного армирования полимерной фиброй на механические свойства раствора на геополимерном вяжущем. Исследования были проведены на геополимерном вяжущем на основе измельченного гранита и доменного гранулированного шлака. В качестве армирующей фибры использовалось полипропиленовое волокно длиной 6 мм в дозировке 0,22, 0,44 и 0,66 % по объему. Были установлены зависимости прочности при сжатии, изгибе, энергии разрушения и плотности от дозировки фибры в различные сроки твердения. Установлено, что фибра повышает прочность при изгибе и ударную прочность геополимерного раствора. Показано, что исследованная фибра характеризуется высокой стойкостью к щелочной среде геополимерного камня.

Ключевые слова: геополимер, полипропиленовая фибра, дисперсное армирование, прочность при сжатии, прочность при изгибе, ударная прочность, стойкость в щелочной среде.

Быстрый рост производства портландцемента за два последних десятилетия привел к тому, что этот материал лидирует по объемам производства. Цементные заводы занимают первое место среди отраслей промышленности по выбросам в атмосферу углекислого газа. На высокотемпературный обжиг и измельчение в цементной отрасли затрачиваются значительные энергетические ресурсы.

Разработка и применение геополимерных вяжущих и бетонов на сегодня рассматривается в качестве наиболее перспективного направления поиска ресурсосберегающей и экологически оптимальной альтернативы портландцементу [1, 2]. Основу таких вяжущих составляют термически обработанные алюмосиликатные горные породы, промышленные отходы – золы и шлаки, твердение которых активируется щелочными соединениями или кислотами [1].

Установлено, что многие осадочные, магматические, метаморфические горные породы, достаточные запасы которых имеются в различных регионах



России, обладают большим потенциалом в качестве сырья для геополимерных вяжущих [3-5].

Кроме преимуществ, геополимерные строительные материалы, имеют и некоторые недостатки, к числу которых относятся повышенная усадка, хрупкость, низкая прочность на изгиб [6,7]. Эффективным способом устранения отмеченных недостатков является использование дисперсного армирования. Исследования различных видов фибры показывают, что полипропиленовая фибра относится к числу наиболее эффективных материалов для дисперсного армирования [8-10]. Однако имеются противоречивые данные [6-9] о влиянии этого вида фибры на прочностные характеристики геополимерных материалов. Отмечается [9], что одной из причин снижения прочности бетона на сжатие при использовании такой фибры может являться ее неравномерное распределение, повышение объема вовлеченного воздуха. Некоторые авторы [6-9] считают, что эффективная дозировка полипропиленовой фибры находится в пределах от 0,3 до 2% по объему.

В настоящей работе проводились сравнительные исследования влияния полипропиленовой фибры на прочностные характеристики растворов на основе геополимерных вяжущих – прочность при сжатии и изгибе, ударную прочность, а также на плотность.

Для изготовления геополимерного вяжущего использовались измельченный гранит Павловского месторождения дисперсностью $350 \text{ м}^2/\text{кг}$, доменный гранулированный шлак Новолипецкого металлургического комбината с дисперсностью $380 \text{ м}^2/\text{кг}$ в соотношении 3:1. Для активации твердения вяжущего использовался раствор жидкого стекла с силикатным модулем 1,1, полученный при смешивании гидроксида натрия, жидкого стекла и воды. Соотношение вяжущее:мелкий заполнитель=1:2. В качестве мелкого заполнителя использовался Сурский кварцевый песок с $M_k=1,6$.



Содержание жидкости к твердому веществу вяжущего в растворных смесях составляло 0,55. Жидкость затворения состояла на 53% по весу из активатора твердения и на 47% – из воды. В качестве модифицирующей добавки применялась предварительно распущенная полипропиленовая фибра марки ВСМ-II-6 длиной 6 мм.

Фибра вводилась в приготовленную растворную смесь в дозировке 0,22, 0,44 и 0,66% по объему.

Для исследования прочности при сжатии ($R_{сж}$) и изгибе ($R_{из}$) были изготовлены образцы размером 40×40×160 мм, для ударной прочности – образцы цилиндры диаметром (d) и высотой (h) 36 мм. Геополимерные образцы твердели в нормальных условиях в течение 28 суток. Прочности при сжатии и изгибе определялись по методикам принятым для цементных образцов по ГОСТ 310.4-81.

Оценка ударной прочности по показателю энергии разрушения производилась на копре КИ. Энергия разрушения (E_p) определялась как отношение суммарной работы, отнесенной к площади разрушения образца ($h \cdot d$).

Таблица

Свойства геополимерных растворов с различным содержанием полипропиленовой фибры

№	Объемное содержание фибры, %	$R_{из}$, МПа		$R_{сж}$, МПа		Плотность, кг/м ³	E_p , кДж/м ²	Относительная энергия разрушения, %
		14 сут	28 сут	14 сут	28 сут			
1	0	2,3	4,45	11,9	23,8	2280	3,4	100
2	0,22	2,45	4,9	12,2	24,4	2224	5,9	173
3	0,44	2,6	5,4	12,9	25	2190	7,9	233
4	0,66	2,8	5,6	14,2	24	2174	9,1	267

Исследования показали, что фибра несколько ухудшает консистенцию смеси – расплыв на встряхивающем столике при объемном содержании



добавки 0,66 % уменьшается до 135 мм, в то время как у контрольного бездобавочного состава этот показатель составлял 162 мм. Это обусловлено более высокой вязкостью вяжущего теста с дисперсным волокном и увеличением объема вовлеченного воздуха, что подтверждается данными по плотности составов в таблице.

Как видно из результатов в таблице добавка фибры повышает прочность при изгибе во все сроки твердения, а прочность при сжатии повышается только в начальные сроки твердения.

Для ускоренной оценки возможного снижения прочностных характеристик смесей с добавкой фибры в результате ее частичного разрушения под действием щелочной среды геополимерного камня было исследовано влияние выдержки образцов во влажных условиях при повышенной температуре (60 °С) в течение 36 и 72 часов. Результаты определения прочности показали, что изменение прочностных характеристик при такой выдержке не зависит от дозировки фибры, что свидетельствует о высокой стойкости фибры к воздействию щелочи.

Анализ значений энергии разрушения геополимерного раствора (см. таблицу) показал, что введение фибры позволяет повысить эту характеристику более чем в 2,5 раза. Геополимерные образцы в отличие от цементных обладают меньшей хрупкостью, что делает их более стойкими к действию переменных и постоянных нагрузок.

Исследованиями установлено, что механические свойства геополимерных растворов – прочность при изгибе, энергию разрушения можно повысить за счет введения в состав полипропиленовых волокон, которые сдерживают разрушение материала. Установленные зависимости прочности при сжатии, изгибе, энергии разрушения и плотности от дозировки фибры в различные сроки твердения могут учитываться при проектировании конструкций из геополимерного бетона.



Литература

1. Davidovits J. Geopolymer Chemistry and Applications. 4th ed. Saint Quentin: Geopolymer Institute, 2015. 644 p.
 2. Mackenzie K., Welter M. Geopolymer (aluminosilicate) composites: synthesis, properties and applications // Advances in Ceramic Matrix Composites. 2014. pp. 445-470.
 3. Калашников В.И., Нестеров В.Ю., Гаврилова Ю.В., Кузнецов Ю.С. Теоретические и технологические основы получения высокопрочного силицевого геополимерного камня // Строительные материалы. 2006. № 5. С. 60-63.
 4. Eroshkina N., Korovkin M. The Effect of the Mixture Composition and Curing Conditions on the Properties of the Geopolymer Binder Based on Dust Crushing of the Granite // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. pp. 1605-1609.
 5. Ерошкина Н.А., Коровкин М.О. Кинетика твердения геополимерного вяжущего на основе горных пород // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3864.
 6. Ranjbar N., Talebian S., Mehrali M. et al. Mechanisms of interfacial bond in steel and polypropylene fiber reinforced geopolymer composites // Composites Science and Technology. 2016. No.122. pp. 73-81.
 7. Pan Z., Sanjayan J.G., Rangan B.V. Fracture properties of geopolymer paste and concrete // Magazine of concrete research. 2011. Vol. 63, No. 10. pp. 763-771.
 8. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. Разработка эффективных составов фибробетона для подземного строительства // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995.
 9. Richardson A.E. Compressive strength of concrete with polypropylene fibre additions // Structural survey. 2006. Vol. 24, No. 2. pp. 138-153.
-



10. Ключев С.В., Лесовик Р.В. Дисперсно-армированный мелкозернистый бетон с использованием полипропиленового волокна // Бетон и железобетон. 2011. № 3. С.7-9.

References

1. Davidovits J. Geopolymer Chemistry and Applications. 4th ed. Saint Quentin, Geopolymer Institute, 2015. 644 p.
2. Mackenzie K., Welter M. Advances in Ceramic Matrix Composites. 2014. pp. 445-470.
3. Kalashnikov V.I., Nesterov V.Yu., Gavrilova Yu.V., Kuznetsov Yu.S. Stroitel'nye materialy. 2006. № 5. pp. 60-63.
4. Eroshkina N., Korovkin M. Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. pp. 1605-1609.
5. Eroshkina N.A., Korovkin M.O. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3864.
6. Ranjbar N., Talebian S., Mehrali M. et al. Composites Science and Technology. 2016. No.122. pp. 73-81.
7. Pan Z., Sanjayan J.G., Rangan B.V. Magazine of concrete research. 2011. Vol. 63, No. 10. pp. 763-771.
8. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armejskov V.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995.
9. Richardson A.E. Structural survey. 2006. Vol. 24, No. 2. pp. 138-153.
10. Kljuev S.V., Lesovik R.V. Beton i zhelezobeton. 2011. № 3. pp. С.7-9.