

2. M.A. Akram, V. Casalegno, M. F. G. Puchas, W. K. .S. Roszeitis, Joining and mechanical testing of oxide/oxide (Nextel TM610/alumina-zirconia) ceramic nanocomposites, J. Eur. Ceram Soc. 2019;39 (7); 2510-2517.

3. V. Gopal, G. Manivasagam, Zirconia-alumina nanocomposites for orthopedic implant application, In book, Materials in Orthopedics Woodhead Publishing Series in Biomaterials, 2019; 201-219, doi.org/10.1016/B978-0-12-813740-6.00011-9.

УДК 691

Ван Сяньпэн¹; С. Н. Ковшар²; С.Н. Леонович ²
¹БНТУ, ²ГМ, РБ

ВЛИЯНИЕ КОКОСОВОГО ВОЛОКНА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА В СОПОСТАВЛЕНИИ СО СТАЛЬНОЙ И СТЕКЛЯННОЙ ФИБРОЙ

Аннотация: Создание новых строительных материалов, связанных с внедрением в современную строительную индустрию зелёных технологий, требует продолжения исследований фибробетонов, включающих в свой состав возобновляемые и экологически чистые компоненты. В статье анализируются данные, полученные в результате испытаний прочности на сжатие, изгиб и разрыв бетона с высоким содержанием наполнителя из ракушечника, смешанного с различными типами фиброволокна (стального, кокосового, стекловолокна), а также усадки бетонного материала с этими компонентами.

Зелёные технологии, призванные уменьшить отрицательное влияние жизнедеятельности человека на окружающую среду и здоровье людей, стремятся реализовать концепцию углеродной нейтральности и соответствовать требованиям к созданию экологически чистых стройматериалов.

Отличительной особенностью фибробетона как строительного материала является повышенная прочность и трещиностойкость. Уникальные свойства материалу придают заполнители, которые изменяют структуру и механические характеристики фибробетона. К выбору заполнителей подходят с учётом их отдельных характеристик и целевого назначения готового бетона. Сегодня очень важное значение имеет экологичность и доступность стройматериалов, поэтому основная задача, решаемая в строительной отрасли, – это использование возобновляемых компонентов вместо природных, невозобновляемых. Так,

употребление в составе строительной смеси дроблёного ракушечника в качестве одного из заполнителей решает такую экологическую проблему, как засорение морей и океанов раковинами отмерших моллюсков. Но при использовании ракушечника снижаются прочностные и эксплуатационные характеристики бетона, изменить которые можно добавлением различной фибры, в том числе экологически чистого кокосового волокна. Использование в составе бетона ракушечника и кокосового волокна позволяет решать экологические проблемы [1]. В то же время создаётся новый вид бетона, свойства которого изучены недостаточно.

Проведённые эксперименты позволили исследовать и сравнить механические свойства бетона с ракушечником, который армирован различными волокнами (стальным, кокосовым, стекловолокном), и употреблёнными в составе строительной смеси в разных количествах. Испытания подготовленных образцов позволили проанализировать их прочность на сжатие, изгиб, разрыв и усадку, а также определить оптимальные тип и дозировку армирующих волокон для повышения прочности и уменьшения усадки бетонного материала.

Для проведения исследований использовано следующее сырьё:

- портландцемент без минеральных добавок класса 42.5;
- песок натуральный речной: объёмная плотность – 2,54 г / см³, модуль крупности – 2,6, содержание воды – 0,87 %;
- наполнитель – дроблёный ракушечник из Минского моря: размер частиц – менее 5 мм, насыпная плотность – 2,82 г/см³, модуль крупности – 3,16, содержание влаги – 0,89 %;
- вода водопроницаемая;
- суперпластификатор нафталиновой серии: степень уменьшения содержания воды – 20%, содержание твёрдых веществ – 95 %;
- армирующие волокна: стальное волокно, кокосовое волокно, стекловолокно.

Чтобы приготовить образцы для испытаний, в контрольной и экспериментальной группах использовался строительный раствор, в котором 20% натурального речного песка заменил наполнитель (ракушечник из Минского моря). Раствор имел следующий состав и соотношение ингредиентов (m=кг/м³): цемент – 450, речной песок – 1080, наполнитель – 270, вода – 202,5. Содержание водоредуктора – 0,2% от массы цемента.

Исходя из общего объёма в строительный раствор экспериментальных групп было добавлено по 1% и 2% стальной фибры, кокосового волокна и стекловолокна соответственно. Строительный раствор равномерно перемешивался, чтобы сформировать сетку из волокон

[2]. Фиброволокна в процессе гидратации располагаются в разных направлениях и предотвращают образование и расширение трещин, так как снижают концентрацию напряжений в вершине трещины, уменьшая таким образом деформацию бетона и увеличивая его прочность на сжатие [3].

Однородный строительный раствор заливался в форму, после виброуплотнения смесь твердела в течении 1 суток при температуре 23°C и относительной влажности 95 %. После чего затвердевший раствор подвергался распалубке. Испытания отлитых образцов проводились в лабораторных условиях на специальном оборудовании с использованием прессы (согласно межгосударственному стандарту, ГОСТ 10180-2012).



Рисунок 1 - Образец для испытаний



Рисунок 2 - Оборудование для эксперимента

Результаты проведённых испытаний отражены в следующей таблице.

Группа / Тип волокна	Дозировка волокна (%)	Прочность на сжатие МПа			Предел прочности при изгибе МПа			Расщепление на растяжение Прочность / МПа	
		7d	28d	90d	7d	28d	90d	28d	90d
Контрольная группа	0	35.6	44.13	46.28	7.88	8.95	10.61	4.33	4.64
Экспериментальные группы									
Стальная фибра	1	39.38	46.80	49.21	9.31	11.77	13.45	5.28	5.69
	2	42.63	48.60	50.97	10.02	12.93	14.28	5.67	6.36
Кокосовое волокно	1	38.33	45.61	48.35	8.77	10.97	12.44	4.61	5.23
	2	38.66	46.56	48.71	9.31	11.63	12.92	5.19	5.82
Стекловолокно	1	36.26	44.03	47.18	8.37	9.16	11.69	4.58	4.88
	2	36.75	44.42	46.69	8.56	9.82	11.84	4.67	5.05

Из полученных данных видно, что прочность на сжатие образца, приготовленного из строительного раствора, смешанного с двумя процентами одного из видов волокон (стального, косового или стекловолокна), зависит от его возраста: прочность на сжатие 7-дневных образцов (7d) твердения выше соответственно на 20,6%, 9,3%, 3,9% по сравнению с контрольными образцами без армирующего компонента, 28-дневных образцов (28d) – на 10,1 %, 5,3 %, 0,7 % и, наконец, образцов в возрасте 90 суток (90d) твердения выше на 10,1 %, 5,3 % и 0,9 % соответственно.

Результаты испытаний показывают, что стальная фибра, обладающая сама по себе высокой прочностью, больше всего повышает прочность бетона на сжатие, тогда как стекловолокно и кокосовое волокно оказывают меньшее влияние на этот параметр.

При увеличении содержания волокна с 1% до 2% прочность на сжатие образца со стальным волокном заметно увеличивается, прочность на сжатие образца с кокосовым волокном увеличивается незначительно, а прочность на сжатие образца со стекловолокном, напротив, уменьшается. Больше всего повышает прочность на сжатие стальная фибра. Это связано с тем, что она лучше распределяется в строительном растворе, что делает его более плотным. В то же время стекловолокно и кокосовое волокно во время перемешивания склонны к агломерации и, следовательно, приводит к образованию в растворе агломератов. При неравномерном распределении волокон эффективная сетка из волокон не может быть сформирована, что снижает прочность бетонного материала на сжатие.

Прочность на изгиб при добавлении в строительный раствор армирующих волокон выше, чем у образцов контрольной группы. Когда содержание волокна составляет 2 %, прочность на изгиб бетона со стальным волокном по сравнению с контрольной группой увеличивается в зависимости от возраста на 27,2 % ~ 44,5 %, а бетона с кокосовым волокном – на 16,1 % ~ 18,88 %. Прочность на изгиб образца со стекловолокном по сравнению с контрольной группой в зависимости от возраста увеличилась от 8,6 % до 11,6 %. В возрасте 90 дней прочность на изгиб образца с 2-мя процентами стальной фибры увеличилась по сравнению с контрольной группой на 34,6 %. Эффективнее всего прочность на изгиб повышает стальная фибра, затем следует кокосовое волокно. Как видим, прочность бетона определяется прочностью самого волокна.

Фибра может передавать напряжение и выдерживать растягивающую силу в бетонной смеси, тем самым препятствуя распространению и расширению трещин. В строительном растворе трещины легко распространяются по сечению оболочки. Перемешанные волокна

равномерно распределяются в растворе, при этом волокна, перпендикулярные поверхности растрескивания, могут эффективно предотвращать развитие трещин. Из-за низкой прочности стекловолокна и невозможности его равномерного распределения бетон склонен к разрыву и разрушению там, где нет волокон. Увеличение содержания волокна улучшает долговременную прочность бетона на изгиб. В возрасте 90 дней прочность на изгиб бетона с 2 % стальной фибры и фибры из кокосового волокна, увеличивается на 6,2 % и 3,9 % соответственно по сравнению с 1% содержания волокна. Напротив, увеличение количества стекловолокна мало влияет на повышение прочности бетона на изгиб. Это связано с тем, что низкая прочность самого стекловолокна и увеличение количества агломератов приводит к его неравномерному распределению в строительном растворе, поэтому прочность бетона не меняется.

Фибра может значительно улучшить прочность бетонной смеси на разрыв при его растяжении. Эксперименты показали, что при содержании в 28-дневном бетоне 2% стальной фибры, кокосового волокна или стекловолокна его прочность на разрыв увеличивается на 30,9 %, 18,8 % и 7,9 % соответственно по сравнению с эталонной группой, а прочность на разрыв 90-дневных образцов увеличивается по сравнению с эталонной группой на 37,1 %, 25,4 %, 8,8 % соответственно. Это происходит в основном потому, что волокно предотвращает появление трещин в бетоне.

Более высокая прочность на разрыв самого волокна также влияет на прочность бетона на разрыв. Механическая прочность стальной фибры выше, чем фибры из кокосового волокна и стекловолокна. Стальное волокно легко диспергируется и увеличение его содержания значительно улучшает механические характеристики бетона, делая бетонные конструкции более устойчивыми к различного рода нагрузкам и увеличивая прочность на растяжение при изгибе.

При введении металлической фибры в количестве от 1% до 2% прочность образцов на изгиб в возрасте 90d увеличивается на 11,8% и 22,6 %, соответственно. При введении кокосового волокна в количестве от 1 до 2 % прочность образцов на изгиб в возрасте 90d возросла на 12,7 % и 11,2 %, соответственно, в то время как прочность на изгиб образцов со стекловолокном в количестве от 1 до 2 % в возрасте 90d возросла лишь на 5,2 % и 3,5 %, соответственно.

Когда направление волокна совпадает с направлением растяжения, оно может выдерживать растягивающее усилие и препятствовать развитию трещин. Из-за агломерации и незначительного изгиба во время перемешивания стекловолокно, даже при более высоком содержании, относительно мало улучшает прочность на разрыв.

Деформация и растрескивание, вызванные усадкой из-за потери воды, являются распространённым явлением для цементных материалов. Они возникают, например, из-за отсутствия крупного наполнителя в растворе или гидратации цемента. Эксперименты показали, что добавление в строительный раствор любого волокна подавляет усадку и растрескивание бетона. Это объясняется тем, что, благодаря наличию волокон, структура материала становится более плотной, повышается его трещиностойкость, что препятствует потере воды и уменьшает усадку при высыхании.

Наилучший результат во время испытаний показали образцы, содержащие 2% стекловолокна. По сравнению с контрольной группой, степень окончательной усадки строительного раствора со стекловолокном снизилась с 0,12 % до 0,04 %. За ним следуют образцы с 2% стального волокна.

Таким образом, добавление одного из трёх видов волокон в строительный раствор по-разному изменяет механические свойства бетона.

Строительный раствор с 2 % фибры показывает лучшие характеристики прочности, чем с 1%.

Установлено, что волокно с более высокой прочностью выдерживает большее давление. Так, по сравнению со стекловолокном, стальное и кокосовое волокно значительно повышают прочность бетона на сжатие и изгиб. При добавлении в строительный раствор 2 % стальной фибры прочность образцов 90d на сжатие, изгиб и разрыв при растяжении увеличивается на 10,1 %, 34,6 % и 37,1 % соответственно по сравнению с контрольной группой, демонстрируя высокую эффективность армирования этим видом фибры.

Увеличение содержания стекловолокна оказывает более слабое армирующее действие на строительный раствор из-за эффекта агломерации, поэтому при использовании стекловолокна следует применять более эффективные методы его диспергирования.

Добавление одного из трёх видов волокон подавляет усадку строительного раствора, так как снижает текучесть бетонной смеси. Меньше всего оседает строительный раствор со стекловолокном.

Строительный раствор со стальным волокном и стекловолокном имеет более плотную структуру и лучшую способность подавлять усадку по сравнению с фиброй из кокосового волокна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang, Xianpeng. Анализ устойчивого развития возобновляемых бетонных новых материалов, II Китайско-белорусский молодежный конкурс научно-исследовательских и инновационных проектов : сборник материалов конкурса, 20-21 мая 2021 г. / BNTU, Научно-

технологический парк БНТУ «Политехник» ; Институт Конфуция по науке и технике БНТУ. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 92-93. <https://rep.bntu.by/handle/data/94895>

2. Пухаренко Юрий Владимирович, Пантелеев Дмитрий Андреевич, Жаворонков Михаил Ильич Диаграммы деформирования цементных композитов, армированных стальной проволочной фиброй // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/diagrammy-deformirovaniya-tsementnyh-kompozitov-armirovannyh-stalnoy-provolochnoy-fibroy>.

3. Коледа, Е. А., Леонович С. Н. Характеристики трещиностойкости фибробетона как определяющий фактор качества / Е. А. Коледа, С. Н. Леонович // Технология строительства и реконструкции : ТСР-2015 : сборник докладов Международной научно-технической конференции / Белорусский национальный технический университет и Национальная академия наук Беларуси; под ред. Б.М. Хрусталев и С.Н. Леонович. – Минск : БНТУ, 2017. – С. 282-287.

УДК 543.253:541.128.13

А.М. Акбашева, А.В. Гедмина, И.А. Челнокова, Л.Г. Шайдарова
Казанский (Приволжский) Федеральный Университет,
Химический институт им. А.М. Бутлерова, Казань, Россия

ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ СЕЛЕКТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЧЕВОЙ И АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТ НА ЭЛЕКТРОДЕ, МОДИФИЦИРОВАННОМ ГЕКСАЦИАНОКОБАЛЬТАТОМ РУТЕНИЯ И ПЛЕНКОЙ ИЗ ПОЛИ-3,4-ЭТИЛЕНДИОКСИТИОФЕНА

Химически модифицированные электроды (ХМЭ) широко используются для разработки высокочувствительных и селективных способов определения органических соединений, в том числе биологически активных. Одним из методов получения ХМЭ является иммобилизация электронпроводящих полимерных пленок (ЭПП) на поверхности графитовых электродов. Преимуществами ЭПП являются их высокая электропроводность и скорость электронного переноса, большая площадь поверхности, что приводит к улучшению аналитических и метрологических характеристик модифицированных электродов на их основе. Включение в проводящие полимерные пленки металлокомплексов позволяет улучшить стабильность электрохимических характеристик таких пленок.