УДК 691.175:519.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГИБРИДНО-АРМИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Довгань П.М., Довгань А.Д., Воронов Ю.Н. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Приведены результаты исследования влияния разных по природе дисперсно-армирующих волокон на механические свойства цементного композита.

Введение. Развитие строительной индустрии предъявляет дополнительные требования к строительным материалам. Рождаются альтернативные технологии, разрабатываются новые материалы путем усовершенствования старых. Перспективным направлением в строительной индустрии, как показывает мировой опыт [1-3], является применение бетона с микроармированием различного рода волокнами, который может найти применение при изготовлении тонкостенных архитектурных изделий и деталей, что позволило бы существенно увеличить высокие механические характеристики в раннем возрасте и повысить оборачиваемость форм при изготовлении архитектурных элементов.

Решение данной проблемы возможно за счет гибридно-дисперсного армирования мелкозернистого бетона, то есть при совместном введении двух разных по природе волокон (например, стальных и синтетических) [4]. Однако, такая композиция не предназначена для изготовления тонкостенных изделий с применением современных методов производства, таких как, «набрызг» или «пневмонанесение». Также к недостаткам следует отнести невысокую коррозионную стойкость. При попадании воды на поверхность фибробетона сквозь микротрещины и микропоры внутрь попадает вода, которая приводит к развитию коррозии металлической фибры, что в свою очередь способствует расшатыванию структуры бетона, в результате чего понижаются надежность и долговечность изделий.

В основу эксперимента поставлена задача создания нового состава дисперсно-армированной композиционной смеси, которая позволила бы устранить вышеперечисленные недостатки и может найти применение при изготовлении тонкостенных изделий и деталей.

Условия натурного эксперимента и результаты моделирования. Эксперимент по определению прочностных и эксплуатационных характеристик цементного композита с гибридным армированием проводился по 9-ти точечному двухфакторному плану. Нормализация варьируемых факторов состава композита $-1 \leq x_i \leq +1$ выполнена по типовой формуле: $x_i = (X_i - X_{oi})/\Delta X_i$.

Базовыми компонентами исследуемых составов являются портландцемент М500 (50 м.ч.), мелкий кварцевый песок (50 м.ч.) с модулем крупности $М_{кр.}$ = 1.48 и суперпластификатор Dynamon SP3 (1% от массы цемента), который получают на основе модифицированного акрилового полимера.

Варьировались дозировки армирующих волокон:

- минерального X_1 = 0,5 ± 0,5 массовых частей от массы растворной смеси. В качестве минеральных использованы стеклянные волокна диаметром 23 мкм, длиной 18 мм и содержанием не менее 19 % диоксида циркония, что делает их стойкими к щелочам находящимся в цементе;
- органического X_2 = 0,5 ± 0,5 массовых частей от массы растворной смеси. В качестве полимерных использованы полипропиленовые волокна диаметром 18,7 мкм, длиной 12 мм, которые позволяют значительно понизить образование микротрещин и способствуют микроструктурному уплотнению.

Технология приготовления фибробетонной смеси включает последовательное перемешивание воды, пластифицирующей добавки, полимерных волокон, цемента, кварцевого песка, минеральных волокон с использованием скоростного смесителя. Водоцементное отношение подбиралось из условия одинаковой удобоукладываемости композиций (осадка конуса 16-18 см), при этом цементно-водное отношение (Ц/В) изменялось от 2,63 до 3,57.

Определялось ряд показателей фибробетона, в том числе, прочность на растяжение при изгибе (R_b, МПа) и трещиностойкость (K_{1c}, МПа·м$^{0.5}$) в возрасте 28 суток.

По данным натурного эксперимента построен комплекс нелинейных экспериментально-статистических моделей (ЭС-моделей) [5]. Так, для свойств прочности на изгиб (R_b) и трещиностойкости (K_{1c}) получены ЭС-модели (1 и 2), адекватные эксперименту при ошибках соответственно $s_э$ = 0,69 МПа и $s_э$ = 0,29 МПа·м$^{0.5}$, с 6 и 5 статически значимыми (двусторонний риск 0,2) эффектами, описывающие полное поле свойств с обобщающими показателями: максимум $R_{b.max}$ = 13,6 МПа достигается при x_1 = x_2 = +1 и минимум $R_{b.min}$ = 8,4 МПа – при x_1 = –0,664, x_2 = –0,026; максимум $K_{1c.max}$ = 7.6 МПа·м$^{0.5}$ у состава с x_1 = +0,735 и x_2 = +1, минимум $K_{1c.min}$ = 4.3МПа·м$^{0.5}$ достигается при x_1 = –1 и x_2 = –0,192.

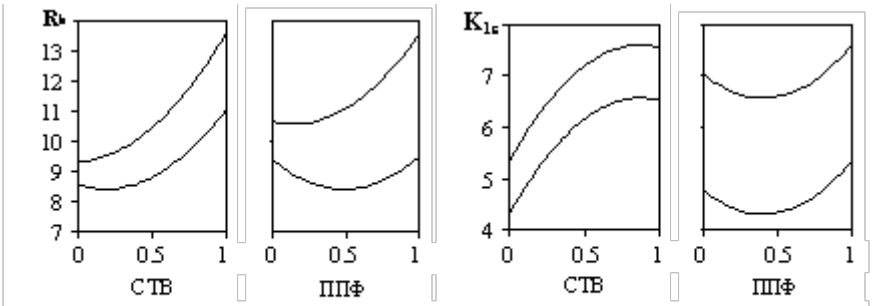

Рис. 1. Влияние факторов состава на прочность при изгибе (R_b, МПа) и трещиностойкость (K_{1c}, МПа·м$^{0.5}$) фибробетона

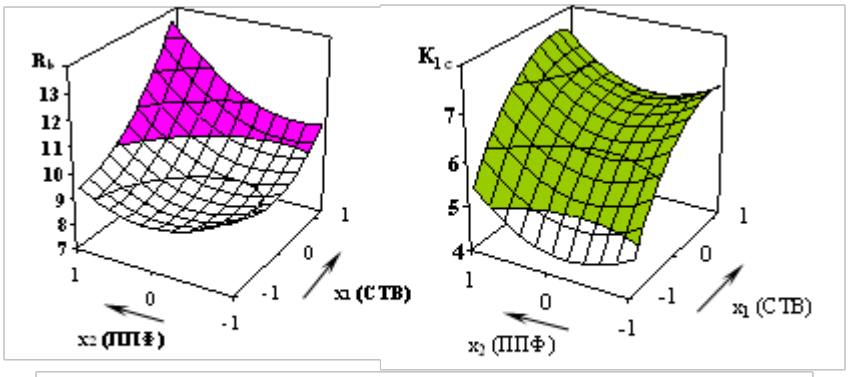

Рис. 2. Локальные поля анализируемых свойств (R_b и K_{1c}) фибробетона в координатах армирующих волокон (x_1 и x_2)

По данным ЭС-моделей свойств (R_b, K_{1c}) построены локальные поля (Рис. 2) в координатах варьируемых факторов. Расположение изоповерхностей на двухфакторных диаграммах показывает, что при совместном введении повышенных дозировок минерального и органического волокон прочность на растяжение при изгибе и трещиностойкость композита возрастает. Следует отметить, что совместно волокна для R_b начинают работать со средних их количеств в композите: при фиксировании x_1 на уровне $x_1 = 0$ (X_1=0,5%) и с постепенным увеличением X_2 (с 0% до 1%) относительный прирост составляет $\delta\{R_b\}$ = 1,20 раза, а при – X_1 = 1% и тех же условиях органического волокна, то есть $X_2 \Rightarrow$ с 0% до 1% – $\delta\{R_b\}$ = 1,28 раза. На анализируемый критерий (R_b) большее влияние в положительную сторону оказывают стеклянные волокна X_1(СТВ). Так, при стабильности полипропиленовых волокон на среднем уровне x_2=0 или X_2=0,5% и с повышением количества минеральных волокон до 1% относительный прирост составляет $\delta\{R_b\}$ = 1,3 раза, а при – X_2 = 1% и тех же условиях X_1 (с 0% до 1%) – $\delta\{R_b\}$ = 1,5 раз.

Анализ диаграммы (Рис. 2 – K_{1c}) трещиностойкости фибробетона показывает, что при постоянном содержании в цементном композите стеклянных волокон и при отсутствии полипропиленовых (x_2=-1), стойкость материала к хрупкому разрушению возрастает с 4.8 до 7.04 МПа·м$^{0.5}$, то есть на 2.3 МПа·м$^{0.5}$, такая же тенденция наблюдается и в композитах с органической фиброй без минеральных волокон, относительный прирост при этом составляет $\delta\{K_{1c}\}$=1.2раза. Повышение содержания волокон до средних дозировок способствует увеличению K_{1c} с 4.8 (при x_1=x_2=-1) до 6.2 МПа·м$^{0.5}$ (при x_1=x_2=0), то есть относительный прирост составляет $\delta\{K_{1c}\}$=1.3раза. При дальнейшем увеличении количества фибры в цементном композите до максимального X_1+X_2=2% (x_1=x_2=+1) относительный прирост еще возрастает по сравнению со средним в 1.2 раза.

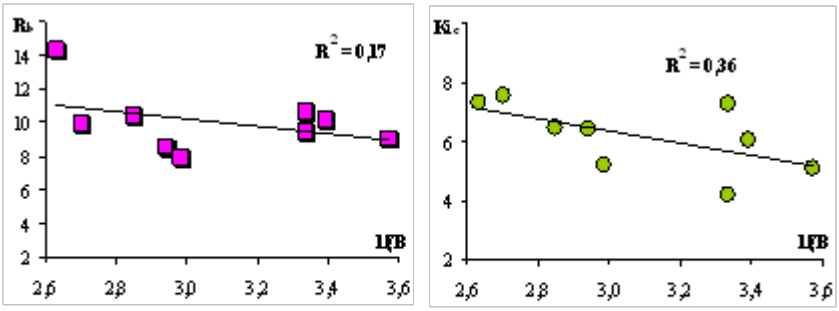

Рис. 3. Влияние Ц/В на прочность на растяжение при изгибе (R_b, МПа) и трещиностойкость (K_{1c}, МПа·м$^{0.5}$) фибробетона

По полученным экспериментальным данным, построены графики (Рис. 3) изменения прочности на растяжение при изгибе R_b и коэффициента интенсивности напряжений K_{1c} под влиянием цементно-водного отношения (Ц/В) фибробетона.

С повышением Ц/В отношения композиций (с 2,63 до 3,57) уменьшается количество дисперсно-армирующих волокон в цементном композите и при этом уменьшается прочность на изгиб (R_b, МПа). Анализ корреляционной диаграммы показывает, что R_b не связана с структурообразующим фактором Ц/В. При низком значении Ц/В = 2.33 прочность на растяжение максимальная.

Влияние Ц/В в комплексе с изменяющимися по плану эксперимента дисперсно-армирующими волокнами на трещиностойкость K_{1c} материала положительно. Корреляционная связь между данными показателями, хотя и не высокая, но существует. При этом коэффициент корреляции составляет R^2 = 0.36, что несколько выше чем у прочности на изгиб с Ц/В. Повышенное содержание стеклянных волокон в цементном композите не приводит к значительному увеличению водопотребности смеси. Такие составы характеризуются достаточно высоким Ц/В и при этом у них стойкость к хрупкому разрушению также достаточно высокая.

Выводы. Анализ рассчитанных ЭС-моделей, построенных одно- и двухфакторных диаграмм позволяет сделать вывод, что введение различных по свойствам и структуре

армирующих волокон в цементный композит увеличивает, как прочность на растяжение при изгибе, так и стойкость материала к хрупкому разрушению.

Литература:

1. Волков И.В. Фибробетон – состояние и перспективы применения в строительных конструкциях // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI, №5. – Москва, 2004. – С. 24-25.
2. Стеклофибробетон // Современные строительные технологии: Строительство и бизнес, № 10. – Москва, 2008. – С. 25.
3. Салагаев В.И. Тонкостенные архитектурные формы повышенной прочности из стеклофибробетона // Строительные материалы. – Выпуск № 6, 2003. – С. 26.
4. Фибробетонная смесь, СССР авт.св.№1701673 А1, С04В 14/38. Бюл. №48, 1991г.
5. ЭС-модели в компьютерном материаловедении / В. Вознесенский, Т. Ляшенко // Материалы к 45-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов. – Одесса: «Астропринт», 2006. – 115с.