УДК 624.012

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА ПРИ ДЕЙСТВИИ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЗОК

PROSPECTS OF USING STEEL FIBER CONCRETE UNDER THE INFLUENCE LOW-CYCLE LOADING

Москалькова Ю.Г. (Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь)

Moskalkova Y.G. (Belarusian-Russian University, Mogilev, the Republic of Belarus)

В статье представлены результаты исследования влияния малоцикловых нагрузок на прочностные и деформативные свойства сталефибробетона.

The article presents the results of investigation of low-cycle loads on the strength and deformation properties of steel fiber concrete.

Ключевые слова:
Сталефибробетон, диаграмма деформирования, сжатие, малоцикловой, нагружение.
Steel fiber concrete**,** concrete stress-strain diagram, compression, low cycle, loading.

Вопрос безотказной работы элементов конструкций, зданий и сооружений является особо важным при проектировании и эксплуатации. Бóльшая часть исследований в странах СНГ и за рубежом посвящена изучению работы железобетонных конструкций при действии кратковременных, длительных и многократно повторяющихся нагружений. В последние 10 лет активно ведутся исследования работы железобетонных конструкций в условиях малоциклового нагружения [1–9], однако до недавнего времени внимание уделялось, главным образом, изучению прочности, так как сечение несущих элементов было достаточно большим и прогибы, соответственно, невелики. Сегодня вопросу деформативности элементов стали придавать достаточное значение в связи со стремлением к снижению материалоемкости железобетонных конструкций и использованию материалов, позволяющих уменьшить поперечные сечения. Одним из таких материалов является сталефибробетон. Его рекомендуется применять в конструкциях зданий и сооружений, для которых существенное значение имеют снижение собственного веса, уменьшение ширины раскрытия трещин, обеспечение водонепроницаемости бетона, повышение

ударной стойкости, сопротивления истиранию, продавливанию и долговечности.

За последние три десятилетия учеными во многих странах мира получены результаты, которыми подтверждено качественно лучшие показатели сталефибробетона по сравнению с традиционным бетоном [10–16]. Сталефибробетон (СФБ) – это композитный материал, состоящий из бетонной матрицы и хаотично расположенных в ней коротких отрезков стальной проволоки – фибр. На эффективность сталефибробетона значительно влияет вид и способ изготовления фибр, их геометрические характеристики.

В РБ в настоящее время применятся стальная фрезерованная фибра, изготавливаемая по технологии германской фирмы «Vulkan Harex» на предприятии ЗАО «Курганстальмост» (РФ, г. Курган) [17]. Представителем ЗАО «Курганстальмост» в РБ является ООО «Бау Максима» (г. Гомель).

Стальная фибра «Harex» изготавливается из высококачественных слябов сразу в процессе сухого фрезерования, то есть поверхность фибры остается полностью сухой, а высокая температура процесса фрезеровки обеспечивает очистку поверхности. Отличительными особенностями фибры «Harex» является треугольное поперечное сечение с двумя шероховатыми и одной гладкой поверхностями. Фибра имеет скручивание вдоль продольной оси и зацепы на концах длиной до 2 мм. Длина фибры составляет 32 мм, ширина – 3,8 мм (рис. 1).

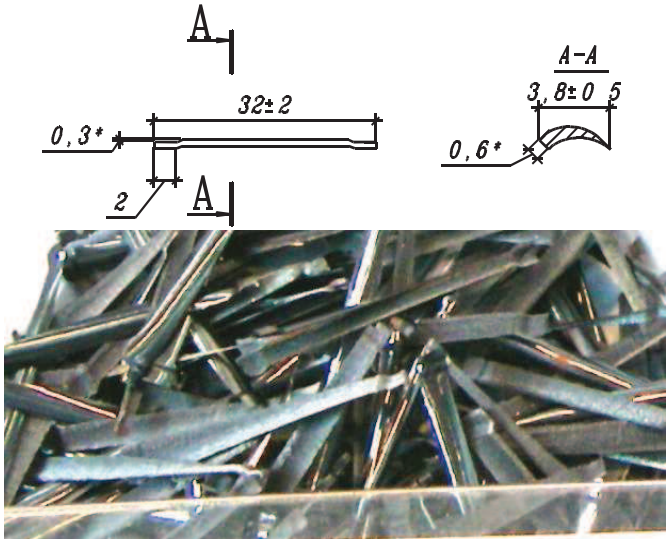

Рис. 1. Стальная фрезерованная фибра «Harex», изготавливаемая ЗАО «Курганстальмост» (РФ, г. Курган)

Благодаря высокой температуре процесса резки, стальная фрезерованная фибра, изготавливаемая ЗАО «Курганстальмост» имеет характерный синева-

тый оттенок – окисный слой, препятствующий образованию и развитию коррозии в процессе ее хранения, транспортировки и эксплуатации внутри бетона. Эффект увеличения сцепления фрезерованной фибры с бетоном достигается за счет повышенной шероховатости поверхности и концевых зацепов, что, в свою очередь, весьма существенно влияет на эксплуатационные характеристики сталефибробетона. Как показали исследования, разрушение сталефибробетона происходит от выдергивания фибры из бетона, а не от ее разрыва (рис. 2) [18].

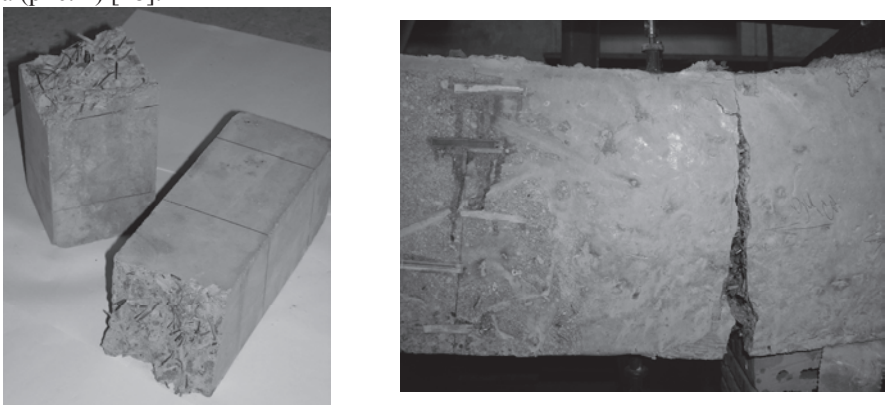

Рис. 2. Разрушение сталефибробетонных образцов

В качестве крупного заполнителя для сталефибробетона на основе стальной фрезерованной фибры «Harex» рекомендуется применять щебень из плотных горных пород с максимальным размером зерен до 10 мм и с содержанием зёрен пластинчатой и игловатой формы до 25%. При техническом обосновании возможно применение щебня с максимальной крупностью зерен до 20 мм, но при этом с ограниченным содержанием фракции 10-20 мм в количестве до 25% по массе [19]. Количество крупного заполнителя в составе сталефибробетонной смеси не должно превышать 20% от общего веса смеси, то есть 400-500 кг на 1 м^3 смеси.

В РБ проведены исследования работы СФБ на основе этой фибры при однократном загружении [18], однако отсутствуют аналогичные исследования при малоцикловом нагружении.

Работа сталефибробетона при действии малоцикловых нагрузок была рассмотрена в работе [19], но в качестве фибры использовались обезжиренные обрезки стальных канатов, а не фибра заводского изготовления, имеющая лучшее сцепление с бетоном за счет анкеров на концах и особой форме.

На базе Белорусско-Российского университета были проведены исследования влияния малоцикловых нагрузок на прочностные и деформативные характеристики сталефибробетона на основе фибры «Harex». В результате установлено, что сталефибробетон лучше работает в условиях малоциклового нагружения по сравнению с бетоном за счёт дисперсного армирования

металлической фиброй: сталефибробетон имеет более высокие верхнюю и нижнюю границы микротрещинообразования и мéньшие деформации быстронатекающей ползучести. То есть введение в состав тела бетона металлической фибры оказывает существенное влияние на работу сталефибробетона при малоцикловых нагрузках: прочность при сжатии не снижается, а несколько увеличивается (на 5–10 %) (рис. 3).

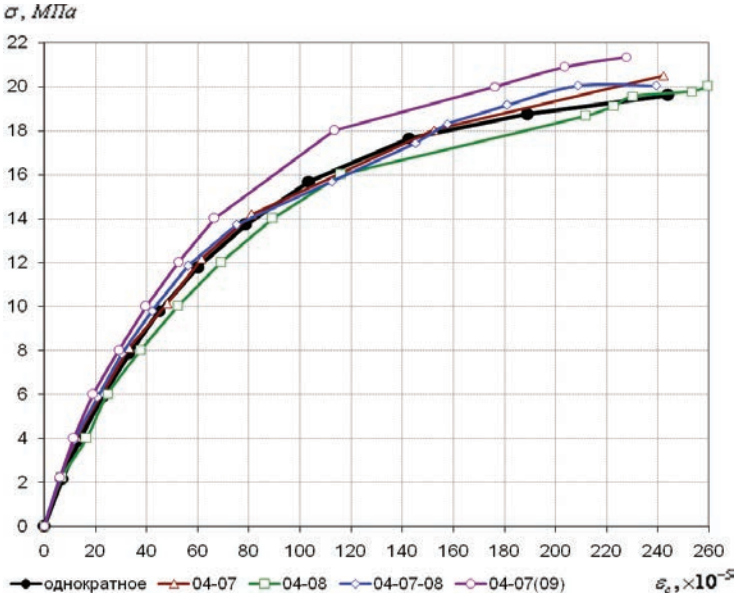

Рис. 3. Огибающие кривые для диаграмм деформирования сталефибробетона класса с f_{fcm} = 20,0 МПа; $f_{fc,cube,m}$ = 25,5 МПа при малоцикловом нагружении разных уровней

Вывод. Установлено, что малоцикловой характер нагрузки не оказывает негативного влияния на прочностные и деформативные характеристики сталефибробетона. Таким образом, при проектировании строительных конструкций из сталефибробетона нет необходимости учитывать влияние малоцикловых нагрузок в расчетных моделях сопротивления сечений.

Однако это относится только к сталефибробетону, изготовленному с использование фибры заводского изготовления с анкерами на концах. В случае применения стальной фибры без анкеров эффективность ее использования при действии малоцикловых нагрузок существенно снижается, так как в процессе нагружения происходит ее выдергивание из бетонной матрицы.

1. Бабич, Є.М. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень : монографія / Є.М. Бабич, Ю.О. Крусь. – Рівне : Вид-во РДТУ, 1999. – 119 с.
2. Бабич, Є.М. Деструктивні особливості і малоциклова втомленість важкого бетону при малоцикловому стиску / Є.М. Бабич, Ю.М. Панчук // Ресурсоекономні матеріали,

конструкції, будовлі та споруди: зб. наук. праць / Нац. ун-т водн. госп-ва та природокорист.; редкол.: Є.М. Бабич [та інш.]. – Рівне, 2000. – Вип. 4. – С. 106–110. **3.** Бабич, Є.М. Деформовання залізобетонних балок під впливом малоциклових повторних навантажень / Є.М. Бабич, О.М. Кухнюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будовлі та споруди: зб. наук. праць / Нац. ун-т водн. госп-ва та природокорист.; редкол.: Є.М. Бабич [та інш.]. – Рівне, 2000. – Вип. 4. – С. 101–105. **4.** Бабич, Є.М. Міцність і деформативність важкого бетону при малоцикловому стисненні / Є.М. Бабич, Н.І. Ільчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будовлі та споруди: зб. наук. праць / Нац. ун-т водн. госп-ва та природокорист.; редкол.: Є.М. Бабич [та інш.]. – Рівне, 2003. – Вип. 9. – С. 116–123. **5.** Бабич, Е.М. Прочность бетона после действия малоцикловой сжимающей нагрузки / Е.М. Бабич, А.П. Погореляк // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1976. – № 4. – С. 33–36. **6.** Гомон, С.С. Робота та несуча здатність косостиснутих залізобетонних елементів за малоциклових навантажень: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / С.С. Гомон; Львівська політехніка. – Львів, 2008. – 16 с. **7.** Гомон, П.С. Дослідження погинів залізобетонних балок таврового перерізу за дії малоциклового навантаження / П.С. Гомон, Д.В. Мажаров // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будовлі та споруди: зб. наук. праць / Нац. ун-т водн. госп-ва та природокорист.; редкол.: Є.М. Бабич [та інш.]. – Рівне, 2012. – Вип. 23. – С. 187–192. **8.** Зінчук, М.С. Міцність та деформативність залізобетонних згинальних елементів за малоциклових навантажень в умовах підвищених температур: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / М.С. Зінчук; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів: 2008. – 16 с. **9.** Кухнюк, О.М. Вплив малоциклових навантажень на механичні характеристики бетону та работу згинальних залізобетонних елементів: автореф. дис. . канд. техн. наук: 05.23.01 / О.М. Кухнюк; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів, 2001. – 16 с. **10.** Панчук, Ю.М. Робота згинальних залізобетонних елементів зі змішаним армуванням при високих рівнях малоциклового навантаження: дис. . канд. техн. наук: 05.23.01 / Ю.М. Панчук. – Рівне, 1999. – 256 с. **11.** Рак, Н.А. Методика расчета сталефибробетонных конструкций с использованием диаграмм деформирования сталефибробетона и стержневой арматуры / Н.А. Рак // Проблемы современного бетона и железобетона: материалы III междунар. симпозиума, Минск, 9–11 нояб. 2011 г.: в 2 т. / Институт БелНИИС; редкол.: М.Ф. Марковский [и др.]. – Минск: Минсктиппроект, 2011. – Т. 1. Бетонные и железобетонные конструкции. – С. 302–308. **12.** Сунак, О.П. Сталефібробетонні конструкції: навч. посібн. / О.П. Сунак. – Луцьк: Media, 1999. – 158 с. **13.** Bilosir, W. Festickeit und Rissfestickeit der Stahlfaserbetonbiegelemente mit Fasern aus Blechabfällen / Bilosir W., Haidukow., Bolcskey E., Krapfenbauer R. / Zl. AD/1106-7/1994. – Wien, 1994. – 64 s. **14.** Naaman, A. Probablistic analysis of fiber – reinforced concrete / A. Naaman // Journal of engineering mechanics division. – 1974. – № 2. – P. 17–25. **15.** Hannant, D.J. Steel fibre reinforced concrete / D.J. Hannant // Prospects for fibre reinforced construction materials. Proceeding of international building. Exhibition Conference, Now, 1971. – P. 47–55. **16.** Reihe Betontechnologie: Glasfaserbeton, Konstruieren und Bemessen / Beton – Verlag GmbH, Düsseldorf, 1994. – 88 s. **17.** Стальная фибра фрезерованная для армирования бетона: ТУ 0882-193-4685090-2005. – Введ. 01.01.2005. – М.: Госстрой РФ. – 2005. – 7 с. **18.** Сталефибробетон, проектирование конструкций, технология изготовления и режимы выдерживания, контроль качества: Рекомендации по проектированию и изготовлению строительных сталефибробетонных конструкций и технологии производства сталефибробетона с применением фрезерованной фибры ЗАО «Курганстальмост»: Р5.03.044.08. – Минск: М-во архит. и

строит. РБ, РУП «Институт БелНИИС», 2008. – 92 с. – рег. № 044. **19.** Руководящие технические материалы по проектированию и применению сталефибробетонных строительных конструкций: РТМ 17-01-2002. – Введ. 01.09.2002. – М.: Госстрой РФ. – 2003. – 80 с.**20.** Дробишинець, С.Я. Вплив повторних малоциклових навантажень на механічні характеристики сталефібробетону та роботу згинальних елементів на його основі: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / С.Я. Дробышинець. – Луцк, 2005. – 174 с.

УДК 624.012

ПРЕДЕЛЫ МИКРОТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ БЕТОНОВ РАЗНЫХ ВИДОВ

CRAZING LIMITS FOR CONCRETE DIFFERENT SPECIES

Москалькова Ю.Г. (Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь)

Moskalkova Y.G. (Belarusian-Russian University, Mogilev, the Republic of Belarus)

В статье представлены результаты экспериментальных значений пределов микротрещинообразования тяжелого бетона, сталефибробетона, керамзитобетона, бетона на основе отходов металлургических производств.

The article presents the results of experimental values outside crazing limits for heavy concrete steelfibreconcrete, lightweight concrete, concrete-based metallurgical wastes.

Ключевые слова:
Бетон, сталефибробетон, легкий бетон, диаграмма деформирования, сжатие, отходы производств.
Concrete, steelfibreconcrete, lightweight concrete, stress-strain diagram, compression, waste production.

Важными характеристиками прочности и деформативности бетона являются пределы верхнего и нижнего микротрещинообразования. Структура бетона содержит начальные дефекты и повреждения, определяющие его поведение под нагрузкой, а также при различных физических и химических воздействиях. Бетон состоит одновременно из трех материальных фаз: твердой, жидкой и газообразной. Жесткий скелет структуры формируют зерна крупного и мелкого заполнителя и непрогидратировавшие зерна цемента.