

Перспективы применения фибробетона в Республике Беларусь

Гутовец Р. В., Моджаро Е.Н.

(Научный руководитель – Коршун Е.Л.)

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Основная задача развития строительной индустрии в современном мире – повышение прочности и надежности строительных конструкций с одновременным снижением затрат на строительство. Одним из перспективных направлений считается использование *сталефибробетона* – композиционного материала из бетона, в котором армирующими материалами выступают равномерно распределенные по всему его объему короткие стальные волокна. Фибробетон обладает значительными преимуществами по сравнению с обычным бетоном. Большая степень сопротивления трещинообразованию способствует увеличению таких физико-механических показателей, как прочность при сжатии, растяжении и изгибе, водонепроницаемость, морозоустойчивость, сопротивление к проникновению химических веществ. Строительные конструкции из бетона с армированием из стальной фибры особенно эффективны при использовании в регионах с высокой сейсмической активностью. Примерами успешного использования сталефибробетона в строительстве являются:

- монолитные и сборные покрытия дорог, настилы мостов, берегозащитные элементы;
- взлетно-посадочные полосы аэродромов;
- постоянная и временная обделка сводов тоннелей, в том числе и метрополитенов;
- фундаменты под оборудование ударного и динамического действия (тяжелые прессы, молоты, прокатные станы и т.д.);
- конструкции сборного железобетона (сваи, лотки, трубы, шпалы, сборные плиты дорог и промышленных полов, тротуарная плитка различной конфигурации, бордюры, разделительные полосы, водопропускные трубы, шумозащитные панели, тонкостенные покрытия автобусных остановок и т.д.);
- фортификационные сооружения;
- банковские сейфы и хранилища ценностей;

- сборные и монолитные гаражи с высокой устойчивостью к взлому;
- различные конструкции из торкретбетона.

Идея армирования хрупкого бетона стальным волокном – фиброй не нова. Первый в мире патент на фибробетонную конструкцию был получен российским ученым В.П. Некрасовым в 1909 г., а широкое развитие исследования по разработке фибробетонов и методов расчета конструкций из них началось с 1960-х гг. С тех пор проведено множество международных научно-технических симпозиумов, конференций и семинаров, посвященных результатам научных изысканий и практическому применению фибробетонов в строительстве в США, Великобритании, Канаде, ФРГ и других странах.

Уже в 1970-е гг. сталефибробетон получает распространение в США, Великобритании, Австрии для устройства полов в промышленных зданиях. Сегодня более 15 стран мира, среди которых США, Япония, Канада, Германия, Великобритания, Норвегия, Австрия, Новая Зеландия и др., используют в качестве армирующего вещества фибру. По последним данным, 50% промышленных полов в Европе изготовлены из фибробетона.

Основные категории армирующих фибр, существующие в настоящее время: стекло, полипропиленовая фибра, стальная фибра.

Многолетние исследования разновидностей фибры и поведения фибробетонов в различных условиях их использования показывают, что ни один из них не дает таких показателей, как стальная фибра. Целесообразность ее применения заключается в следующем:

- возможность усиления углов (при обычном армировании в углах находится чистый бетон);
- возможность регулирования толщины элемента (при обычном армировании нижняя часть бетона служит только для удерживания арматуры. Таким образом, при армировании фиброй можно уменьшить толщину конструкции);
- 50%-ная экономия времени (в отличие от арматуры для фибры не требуется специальной укладки);
- бетон, армированный фиброй, распределенной в нем во всех направлениях, по свойствам аналогичен бетону с удвоенным количеством арматуры, что гораздо дешевле, чем укладка двойной арматуры;

- при укладке арматуры сначала производится заливка, а затем арматуру поднимают до необходимого уровня. Точность при этом приблизительная. При армировании фиброй возможность ошибки исключена;
- для фибры нет необходимости в специальных расчетах;
- она может применяться в нестандартных конструкциях, где проблематично использовать арматуру (хотя во многих традиционных конструкциях, например при строительстве лестничных пролетов, используется только арматура);
- фибра обладает высокой коррозионной и износостойкостью.

В настоящее время выпускаются следующие разновидности стальной фибры: фибра, полученная экструдированием (вытяжкой) из стального расплава; фибра, строганая из сляба (выпускает с 1994г. ЗАО “Курганстальмост” по лицензии и технологии германской фирмы Vulkan Hargex); фибра, рубленая из стального листа (“Стигма”); проволочная волновая и анкерная фибры.

Наиболее перспективным направлением считается производство высокомодульной проволочной фибры.

Для изготовления проволочной фибры мировые производители используют проволоки с низким и высоким содержанием углерода. Для повышения анкерной способности под действием растягивающей нагрузки применяемая проволока изготавливается с высоким модулем упругости, равным 170 000–270 000 МПа, что увеличивает сопротивление разгибу с деформированных участков фибры под действием растягивающих нагрузок в фибробетоне.

Для увеличения изгибной жесткости в поперечном сечении фибра может иметь плоскую форму. При изготовлении фибры отношение длины отрезка проволоки с деформированными концами к толщине плоской проволоки равно 30–70, а отношение ширины плоской проволоки к толщине – 1,01–3,00. По сравнению с фиброй из обычной проволоки одинаковой толщины, плоская форма проволоки повышает площадь контакта с бетонной матрицей, что дополнительно закрепляет ее в бетоне. Хаотическая ориентация фибры в бетоне обеспечивает повышенную изгибную жесткость в области ребра до 75%, и при плоском расположении фибры значение изгибной жесткости будет выше проволоки с диаметром, соответствующим толщине плоской проволоки.

В качестве примера рассмотрим моменты сопротивления изгибу (W) круглой проволоки диаметром – d и плоской проволоки толщиной $b = d$ и шириной $h = 1,01b$ и $h = 3b$.

Для круглой проволоки:

$$W = \pi d^3/32 = 0,098d^3.$$

Для плоской проволоки:

– при изгибе на ребре

$$W = bh^2/6 \text{ для } h = 1,01b \quad W = 1,01d^3 \text{ для } h = 3b \quad W = 4,5d^3,$$

– при изгибе на плоской части

$$W = hb^2/6 \text{ для } h = 1,01b \quad W = 0,168d^3 \text{ для } h = 3b \quad W = 0,5d^3.$$

Как видно из полученных значений, использование для армирования в бетоне фибры из плоской проволоки дает минимальное увеличение моментов сопротивления изгибу в 1,71 раза.

Для повышения анкерной способности под действием растягивающей нагрузки проволока изготовлена с высоким модулем упругости, равным 170 000–270 000 МПа. Плоская форма проволоки обеспечивает повышенную изгибную жесткость в области ребра и увеличивает площадь контакта с бетонной матрицей, при этом отношение длины отрезка проволоки с деформированными концами к толщине плоской проволоки равно 30–70, а отношение ширины плоской проволоки к толщине – 1,01–3,00.

Промышленное производство стальной анкерной, волновой и микрофибры в Беларуси начал в 2008 г. один из крупнейших мировых производителей металлокорда и проволоки для шин и РТИ – РУП “Белорусский металлургический завод”. На предприятии создан технологический участок по изготовлению стальной фибры из отходов производства проволоки и металлокорда. Основным рынком потребления являются страны Европы и Америки, а в последнее время – Российская Федерация. В Беларуси использование фибробетонов еще только зарождается.

По мнению специалистов лаборатории фибробетонов и фибробетонных конструкций научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института бетона и железобетона (ГУП “НИИЖБ”, г. Москва), фибра из отходов бракованного корда из высокоуглеродистой проволоки может использоваться в сталефибробетонных конструкциях в первую очередь по экономической целесообразности. По стоимости она примерно в 3–5 раз дешевле рубленой и фрезерованной фибры. При массовом произ-

водстве возможен выпуск, как из отходов проволочного производства, так и из специально наработанной проволоки. Получаемая фибра должна характеризоваться определенными прочностными параметрами и соотношением диаметр-длина, обеспечивающими стабильные и прогнозируемые свойства сталефибробетона.

Эксперименты, проведенные в лабораторных и промышленных условиях, подтвердили эксплуатационные преимущества фибробетона из отходов проволочного и металлокордного производства.

В настоящее время фибра, изготовленная РУП “БМЗ”, прошла сертификацию в Беларуси и Российской Федерации, продолжается процедура ее сертификации в странах Европы.

Наиболее эффективно использование сталефибробетона в конструкциях, к которым предъявляются требования повышенной трещиностойкости, истираемости, сопротивляемости ударным и знакопеременным нагрузкам. Выгодно его использовать в монолитных, дорожных и аэродромных покрытиях, пролетных строениях мостов, полах промзданий, подпорных стенах, торкретных слоях для облицовки шахт тоннелей и огнезащитных футеровок, фундаментов машин и т. п. Из числа сборных конструкций можно выделить тонкостенные и ребристые плиты покрытий, элементы оболочек и несъемной опалубки, панели стен и перегородок, плиты полов, дорожные и аэродромные плиты, конструкции подземных коммуникаций, сваи, шпалы.

Использование стальной фибры вместо обычной арматуры позволяет перейти к созданию бетонов нового поколения – сталефибробетонов, имеющих по сравнению с обычным бетоном целый ряд существенных преимуществ, включая прочность, трещиностойкость, деформативность. Кроме того это: снижение трудозатрат на арматурные работы; сокращение расхода стали и бетона (расход стальной фибры на 1 куб. м. бетона – 20 кг, вместо 150 кг арматуры); фибра может применяться в нестандартных конструкциях, где проблематично использовать арматуру.