



*It is shown that use of fiber of the modern material, capable to replace metal reinforcing rod in ferroconcrete, provides decrease of expenses for reinforcing works, increase of degree of production mechanization.*

И. Н. РАДЬКОВА, В. И. ГРИЦАЕНКО, ОАО «БМЗ», И. В. КОВАЛЬ, РУП «Институт БелНИИС»

УДК 669.21

## ЭФФЕКТИВНЫЙ УПРОЧНИТЕЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ – СТАЛЬНАЯ ФИБРА

Эффективная переработка отходов производства является одной из главных проблем всех отраслей промышленности. Эта проблема также актуальна и на ОАО «БМЗ». Отходы метизного производства, представленного тремя сталепроволочными цехами, состоят из некондиционных отрезков металлокорда, тонкой латунированной проволоки, проволоки РМЛ и бортовой проволоки. До недавнего времени они использовались в собственном переделе в качестве металлошихты, однако, как показала практика, экономически это крайне невыгодно, так как степень угара проволоки в электропечах достигает 85%, поэтому необходимо было искать новые, более рациональные способы переработки и использования металлоотходов. В результате специалистами завода было найдено эффективное решение этой проблемы – разработан и внедрен техпроцесс производства проволочной стальной фибры.

Фибра – современный материал, способный в ряде случаев заменить металлическую стержневую арматуру в железобетоне, представляет собой материал в виде небольших отрезков проволоки или узких полос. Фибра может быть стальной, стеклянной, базальтовой и полимерной. Введение фибры в бетон и ее дисперсное расположение в объеме материала позволяет получить композиционный материал на основе бетонной (цементной) матрицы. При смешивании фибры с бетоном получается фибробетон, который в отличие от обычного железобетона имеет меньшую усадку, более устойчив к образованию трещин и достаточно хорошо выдерживает вибрационные и ударные нагрузки. Сталефибробетон целесообразно применять в условиях воздействия сочетаний неблагоприятных факторов, при этом проявляется большая эффективность сталефибробетона по сравнению с традиционным бетоном и железобетоном. Имен-

но эти характеристики позволяют широко применять фибробетон в строительстве дорог, мостов, промышленных полов, железнодорожных тоннелей, аэродромов, взрывозащитных и сейсмостойких конструкциях.

При разработке технологии производства и выборе технических параметров фибры для изготовления на ОАО «БМЗ» за основу были взяты геометрические характеристики, физико-механические показатели и номенклатура, во многом аналогичная некоторым типам стальной фибры, широко используемой в Европе и России.

Стальная фибра на ОАО «БМЗ» производится как из отходов высокоуглеродистой проволоки, а также из специально изготавливаемой для этих целей низкоуглеродистой проволоки и имеет следующую классификацию:

- по марке стали – низкоуглеродистая сталь (Н) и высокоуглеродистая сталь (В);
- по профилю – анкерная (А), волновая (В) и прямая (микрофибра) (М).

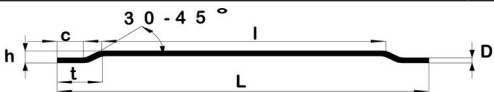
Условное обозначение состоит из обозначения вида стальной проволоки, вида используемого профиля, а также ее диаметра и длины. Пример условного обозначения: фибра из стальной низкоуглеродистой проволоки (ФСН) анкерного профиля (А) диаметром от 0,96 до 1,05 мм, длиной 60 мм: ФСН-А-1,0/60.

Основные характеристики фибры производства ОАО «БМЗ» приведены в табл. 1–3.

Для реализации инвестиционного проекта по производству фибры на ОАО «БМЗ» были закуплены два волочильных стана для переработки пелетельных диаметров проволоки до готового размера диаметром 1,0 мм. Установлены и запущены в работу 20 станков фирмы «Lamatassina» (Италия) с возможностью производства анкерной, волновой фибры и микрофибры из тонких диаметров прово-


Т а б л и ц а 1. Анкерная фибра

| Параметры                    | Показатели и их отклонения |           |
|------------------------------|----------------------------|-----------|
| Длина $L$ , мм               | 30                         | 50; 60    |
| Номинальный диаметр $D$ , мм | 0,30–0,70                  | 0,80–1,10 |




Т а б л и ц а 2. Микрофибра

| Параметры                    | Показатели и их отклонения |  |
|------------------------------|----------------------------|--|
| Длина $L$ , мм               | 12; 13                     |  |
| Номинальный диаметр $D$ , мм | 0,20–0,35                  |  |



Т а б л и ц а 3. Волновая фибра

| Параметры                    | Показатели и их отклонения |  |
|------------------------------|----------------------------|--|
| Длина $L$ , мм               | 15–22                      |  |
| Номинальный диаметр $D$ , мм | 0,20–0,70                  |  |



локи 0,2–0,7 мм и четыре станка под анкерную фибру из проволоки диаметром 0,8–1,1 мм. В установленном оборудовании реализован принцип реза проволоки, исключая образование острых кромок, что является положительным фактором при ее переработке (рис. 1).

В настоящее время на ОАО «БМЗ» производится проволоочная фибра в промышленных объемах 400 т/мес, что позволяет обеспечить возрастающие потребности строительного рынка. Фибра поставляется в прочных коробках, изготовленных из многослойного картона, с номинальным весом не более 25 кг. Коробки устанавливаются на деревянные поддоны и обтягиваются стрейч-пленкой, обеспечивающие надежную транспортировку готовой продукции.

Следует отметить, что в настоящее время на применение проволоочной и иных видов фибр нет общепризнанных международных норм и стандартов, хотя работы в данном направлении, безусловно, ведутся. Примером может служить Российский свод правил СП52–104–2006 или Европейский prEN14889–1. Каждый потребитель при строитель-

стве объектов, как правило, получает разрешение от местной специализированной организации, ответственной за допуск по использованию армирующих материалов, как например, лаборатория по испытанию материалов для строительной отрасли (МРА) в Германии, НИИЖБ – в России и БелНИИС – в Беларуси.

Для широкого внедрения стальной фибры производства ОАО «БМЗ» в России и Беларуси совместно с НИИЖБ и РУП «Институт БелНИИС» выполнен целый комплекс работ по исследованию технологических и физико-механических свойств бетонов, изготовленных с применением фибры БМЗ. С целью снижения уровня неоднородности волновой фибры при ее использовании также были определены ее оптимальные геометрические параметры. В результате исследований на ОАО «БМЗ» были сформулированы нормативные документы для изготовления и использования фибры:

- ТУ 14–1-5564–2008 «Фибра из стальной проволоки для дисперсного армирования бетона».
- ТУ ВУ 400074854.628–2011 «Фибра из стальной проволоки для армирования бетона».

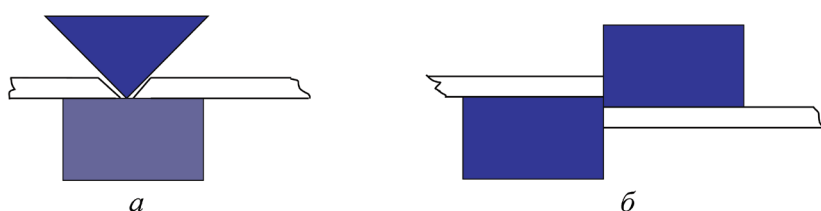


Рис. 1. Схема отрезания проволоки при изготовлении фибры: а – обычная схема реза проволоки; б – схема реза проволоки на станках фирмы «Lamatassina»

- Рекомендации по проектированию и изготовлению строительных сталефибробетонных конструкций и технологии производства сталефибробетона с применением стальной фибры БМЗ № P5.03.054.09 (РБ, БелНИИС).

- Рекомендации по проектированию и применению сталефибробетонных конструкций на фибре из стальной проволоки производства ОАО «БМЗ» (РФ, НИИЖБ).

Фибра, производимая на ОАО «БМЗ», прошла сертификацию в системе ГОСТ Р, системе Мосстройсертификации и Национальной системе сертификации РБ.

Рекомендации по проектированию включают в себя требования к материалам сталефибробетона, расчетные формулы по проектированию конструкций различного назначения (промышленных полов под оборудование, а также несущих элементов балок, забивных свай, аэродромных плит, банковских хранилищ, защитных сооружений и т. д.) и регламентируют области применения сталефибробетона в строительных конструкциях.

Для успешной реализации стальной фибры ОАО «БМЗ» в европейских странах в 2009–2010 гг. проведена работа по испытанию фибры и ее сертификации по стандарту EN 14889–1, в результате чего был получен сертификат соответствия TUV NORD (Германия) на анкерную, волновую фибру и микрофибру с правом нанесения CE-маркировки.

Основными мировыми рынками потребления фибры являются развитые страны Европы, Америки, а также Япония и Российская Федерация. В Европе ежегодно производится около 300 тыс. т фибры, тогда как в России – всего около 10 тыс. т. В европейских странах фибра используется в гражданском, дорожном строительстве, при строительстве гидросооружений, тоннелей, аэропортов. Основная же сфера применения фибры в России (90%) – это укладка промышленных полов, в Беларуси использование фибробетонных только начинает зарождаться, хотя некоторый опыт уже накоплен.

Причиной такого относительно небольшого использования данного вида армирования в России и Беларуси является отсутствие полноценной нормативной базы, соответствующих рекомендаций, расчетов по применению тех или иных видов фибры и, как следствие, невозможность применения данного материала в более широких областях армирования бетонных конструкций. Одним из барьеров внедрения использования фибры в РБ также является отсутствие национального стандарта, ТКП и серьезного опыта работы по проектированию конструкций и изделий с данным материалом.

Для продвижения фибры на внутренний рынок в 2011 г. на Белорусском металлургическом заводе был организован и проведен семинар по перспективам применения фибры в строительной отрасли республики. На семинар были приглашены представители проектных и строительных организаций Республики Беларусь, представители РУП «Институт БелНИИС» и ЗАО «Фибробетон», «Белмет», «GSB». В ходе семинара были всесторонне рассмотрены вопросы, показывающие преимущества использования стальной фибры по сравнению с другими армирующими материалами. Было отмечено, что фибробетон по сравнению с обычным бетоном имеет более высокие качественные характеристики: повышенную прочность на растяжение и изгиб, трещиностойкость, водонепроницаемость, пониженные деформации ползучести и усадки; высокую термостойкость и огнестойкость, высокую удельную энергию разрушения и сопротивления истираемости; повышенную морозостойкость конструкций, особенно при использовании малых диаметров фибры; увеличение ударной вязкости конструкций.

Кроме того, использование сталефибробетона обеспечивает снижение затрат на арматурные работы, повышение степени механизации производства, применение высокопроизводительных приемов формования армированных конструкций; использование более эффективных конструктивных решений; повышение долговечности конструкций, увеличение межремонтного ресурса.

Сотрудниками РУП «Институт БелНИИС» Минстройархитектуры Беларуси были представлены результаты работы по изучению зависимости влияния объемного содержания фибры на сопротивление сжатию и растяжению бетонов (рис. 2, 3). Было установлено, что при использовании фибры в качестве армирующего материала значительно увеличивается сопротивление растягивающим нагрузкам, что позволяет применять фибру в конструкциях, подвергаемых растягивающим нагрузкам, например, в кольцах колодцев и тонкостенных конструкциях с высокой трещиностойкостью.

Большое внимание на семинаре было уделено методике расчета составов бетонов при проектировании конструкций, приведены полученные путем экспериментально-теоретических исследований рекомендуемые составы сталефибробетонных, результаты исследований, на основании которых получены следующие зависимости:

- содержание фибры в сталефибробетоне (расход на 1 м<sup>3</sup> СФБ смеси) определяется требованиями к его физико-механическим свойствам, назначаемым из условий применения и в зависимости от области использования сталефибробетона;

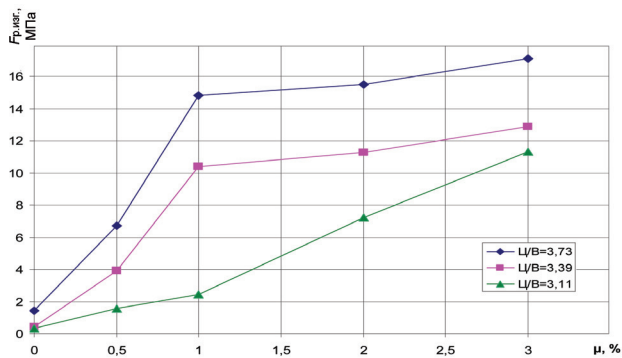


Рис. 2. Влияние объемного содержания стальной фибры на растяжение при изгибе цементного камня

- эффективность дисперсного армирования возрастает с уменьшением диаметра фибры, чем меньше диаметр фибры, тем больше прирост прочности сталефибробетона.

Большой интерес представил предложенный новый метод применения фибры тонких диаметров – метод раздельной укладки (слой фибры – слой раствора).

Также приведены основные преимущества проволочной фибры. В отличие от проволочной сетки или арматуры, которые устанавливаются в одной плоскости, стальная фибра одинаково распространяется (распределяется) по всему объему бетонной матрицы. Стальная фибра реализует изменение некоторых основных физико-механических характеристик бетона в зависимости от объемного содержания ее вводимого количества, которые могут варьироваться в пределах 15–120 кг/м<sup>3</sup>. Одна из первоначальных функций – уменьшение микро- и макротрещин. Стальная фибра препятствует распространению трещин на начальной стадии их появления, а традиционная классическая арматура, или проволочная сетка, предназначена для того, чтобы предохранить бетон от образования усадочных трещин, и не может предотвратить их распространение. Влияние различных форм проволочной фибры на сопротивление трещинообразованию показано на рис. 4.

Целесообразность применения стальной фибры также заключается в возможности усиления углов (при обычном армировании в углах находится обычный неармированный бетон).

Более подробно с материалами семинара «Перспективы применения фибры производства ОАО «БМЗ» в строительной отрасли Республики Беларусь» можно ознакомиться на сайте [www.belsteel.com](http://www.belsteel.com).

Наглядно принцип действия волокна фибры и арматуры на развитие трещин в бетоне приведен на рис. 5.

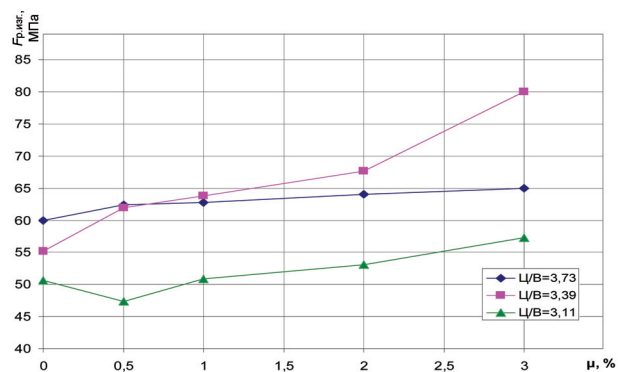


Рис. 3. Влияние объемного содержания стальной фибры на сопротивление сжатию цементного камня

В настоящее время работы по расширению сферы использования стальной проволочной фибры ОАО «БМЗ» продолжают. Так, в 2010–2011 гг. РУП «Институт БелНИИС» проведена работа по дальнейшим исследованиям свойств сталефибробетона с применением стальной фибры ОАО «БМЗ», в результате которой были:

- 1) изучены особенности используемых материалов и оборудования, исследованы технологические и физико-механические свойства сталефибробетона для изготовления конструкций колодцев водопроводов и канализации;
- 2) определены технологические и физико-механические свойства сталефибробетона различных классов по прочности на сжатие и марок по удобоукладываемости, разработана номенклатура товарных бетонов различных классов для возведения монолитных конструкций;
- 3) разработаны рабочие чертежи, изготовлены и испытаны экспериментальные образцы сталефибробетонных конструкций колодцев типа КС-9;
- 4) изготовлены фрагменты сталефибробетонных полов и выполнен комплекс исследований не-

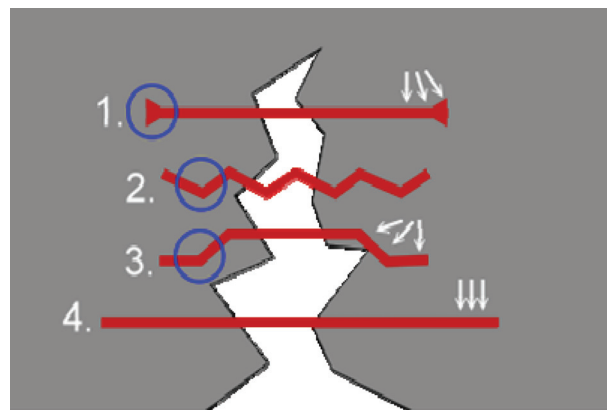


Рис. 4. Влияние различных форм проволочной фибры на сопротивление трещинообразованию: 1 – фибра с конусовидными концами; 2 – волновая фибра; 3 – фибра с загнутыми концами; 4 – прямая фибра. Синие кружки – механизмы анкеровки фибры, белые стрелки – поверхности сцепления

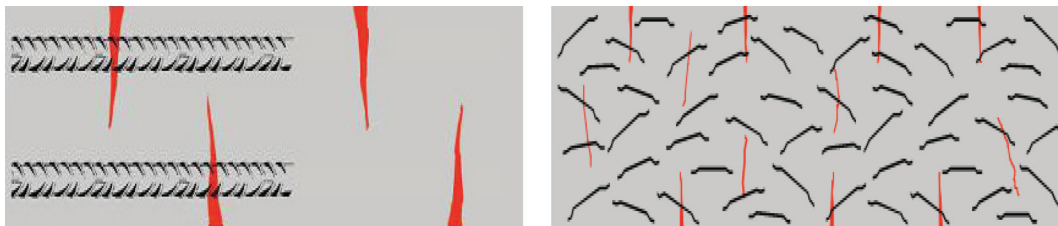


Рис. 5. Влияние фибры и арматуры на сопротивление трещинообразованию

сущей способности (изгиб, продавливание), разработаны, согласованы и утверждены Рекомендации по расчету и конструированию сталефибробетонных промышленных полов;

5) по результатам испытаний скорректированы, согласованы и утверждены в установленном порядке рабочие чертежи сталефибробетонных конструкций колодцев типа КС-9 для массового производства;

6) изучены особенности используемых материалов и оборудования, исследованы технологические и физико-механические свойства сталефибробетона для изготовления конструкций тоннельных обделок метрополитена, согласованы и утверждены рабочие

чертежи сталефибробетонных конструкций тоннельных обделок метрополитена.

Данные, полученные в результате проведенной работы, планируется использовать при разработке нормативных документов: ТКП «Конструкции бетонные и железобетонные. Часть 15. Конструкции из дисперсно-армированного бетона. Правила проектирования» и ТКП «Изделия и конструкции из дисперсно-армированного бетона. Правила изготовления».

Разработка ТКП позволит иметь республиканский отраслевой нормативный документ на проектирование и изготовление конструкций и изделий из сталефибробетона и будет способствовать дальнейшему продвижению фибры на внутреннем рынке.