

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФИБРЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИБРОБЕТОНА.

ГАЛУЗО О. Г., СЛУЦКИЙ А. Г., ШЕЙНЕРТ В. А., РОМАНОВ Д. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Бетон армированный дисперсными волокнами или фибрами называется фибробетоном. Сталефибробетон является разновидностью дисперсно-армированного железобетона и изготавливается из мелкозернистого или тяжелого бетона, в котором в качестве арматуры используются стальные фибры, которые в свою очередь повышают ударную прочность бетона, уменьшают истираемость, повышают прочность при растяжении, препятствуют раскрытию трещин.

Сталефибробетон рекомендуется для изготовления конструкций, в которых могут быть использованы следующие его технические преимущества по сравнению с традиционным железобетоном:

- повышенные ударная прочность, морозостойкость, износостойкость, сопротивление кавитации;
- пониженные усадка и ползучесть;
- возможность использования более эффективных конструктивных решений, чем при обычном армировании, например, тонкостенных конструкций, конструкций без стержневой или сетчатой распределительной и поперечной арматуры, др.;
- повышение степени механизации и автоматизации производства железобетонных конструкций, например, в сборных тонкостенных оболочках, ребристых плитах покрытий и перекрытий, сборных колоннах, балках, монолитных и сборных полах промышленных и общественных зданий и др.;
- возможность применения новых, более производительных приемов формования армированных конструкций, таких как, торкретирование и др.

Основные области применения сталефибробетона в монолитных конструкциях таких как полы промышленных зданий, стоянки автомобилей и автомобильные дороги, резервуары и бассейны, эле-

менты стеновых панелей и плит перекрытия, железнодорожные шпалы, дорожные плиты, малые архитектурные формы и др.

В настоящее время известны три типа технологических установок получения литой стальной фибры, которые отличаются:

- по используемому сырью (шихта, сляб, вторичный металл, сварочная проволока и катанка);

- по способу загрузки сырья в зону плавления (ручная, полуавтоматическая загрузка, трайп-аппарат для подачи катанки и проволоки);

- по способу плавки (индукционный, электродуговой, плазменно-дуговой и соответствующим им конструкциям питателей рабочей камеры).

Одним из наиболее эффективных является электродуговой способ получения фибры, в основу которого могут быть положены два вида процесса.

Первый процесс – зона плавки металла и рабочая зона получения фибры разделены в пространстве.

Второй процесс – зона плавки металла совмещена с рабочей зоной получения фибры.

В основу технологии получения стальной литой фибры положен способ электроплавки стали с последующим диспергированием расплава на специальной установке. Она представляет из себя электромеханический комплекс устройств и агрегатов, позволяющий производить конечную продукцию непосредственно из исходной шихты в одну стадию. Например, можно получать из стальной катанки (Ст.08кп, Ст20) литую фибру высокой дисперсности (размер частиц: толщина $1 - 10 \cdot 10^{-5}$ м, длина $3 - 20 \cdot 10^{-5}$ м) с развитой поверхностью частиц.

Созданная в НИИЛ Литейные технологии экспериментальная установка состоит из следующих основных узлов: механическая часть с электроприводом, электродуговая часть, рабочая камера с системой вентиляции (рисунок 1).

Процесс получения литой стальной фибры на экспериментальной лабораторной установке сводится к следующему: при подаче электрического напряжения питания от источника тока между расходуемым стальным (3) электродом и графитовым диспергатором (5) возбуждается дуговой разряд (4). Тепло выделяемое дугой прогревает диспергатор и расплавляет расходуемый электрод, металл

которого стекает на поверхность вращающегося стакана графитового диспергатора, приобретает необходимую скорость и дробится на капли, которые отбрасываются на поверхность кристаллизатора (6), приводимого электродвигателем (8) во вращение вокруг вертикальной оси через шпиндель (7), скользящий контакт (9) обеспечивает надежный отвод электрического тока от диспергатора во время вращения шпинделя. Капли металла летящие к кристаллизатору затвердевают на нем, образуя фибру, которая собирается в кольцевом сборнике (10).

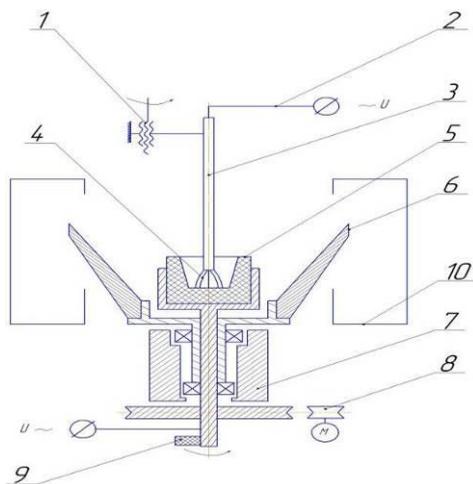


Рис. 1. Схема лабораторной установки для получения литой стальной фибры:
 1 – механизм подачи расходуемого электрода; 2 – электрический контакт расход электрода; 3 – стальной расходуемый электрод; 4 – дуговой разряд; 5 – графитовый диспергатор; 6 – вращающийся кристаллизатор; 7 – механический шпиндель; 8 – приводной электродвигатель; 9 – скользящий контакт; 10 – сборник фибры

Это позволяет получать из стального холоднокатаного прутка (Ст.08кп, Ст20) литую фибру высокой дисперсности с развитой поверхностью частиц. Однородный гранулометрический состав фибры обеспечивается автокалибровкой в процессе ее изготовления. А физико-механические свойства получаемого материала позволяют эффективно смешиваемость ее в бетоне без образования «ежей», с равномерным распределением фибры по объему.

Качественные характеристики литой металлической фибры обеспечиваются также за счет снижения ее гранулометрического

разброса в жидком состоянии и воспроизводимого структурирования по фазовому составу [1, 4, 5].

Использование вторичных металлических материалов при производстве такой фибры существенно сокращает затраты на ее производство.

Был проведен комплекс наладочных и экспериментальных работы с целью отработки технологии получения литой стальной фибры. В качестве примера на рисунке 2 представлены фотографии образцов полученного материала.

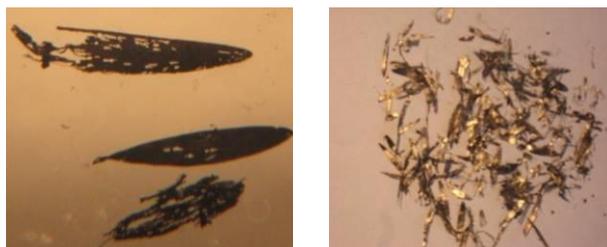


Рис. 2. Опытные образцы литой стальной фибры

Инженерные решения научно-исследовательской и инновационной лаборатории «Литейные технологии» Белорусского национального технического университета позволяют получать литую фибру и из жидкой фазы. Для получения железоуглеродистого сплава (сталь либо чугун) используется малая индукционная печь на базе полупроводникового инвертора мощностью 30 кВт, обеспечивающий высокоскоростную плавку металла с последующим его диспергированием на установке. Для стабилизации процесса разлива жидкий металл подается на диспергатор через специальную промежуточную чашу и калиброванную струйную трубку.

По такой технологической схеме были получены опытные образцы чугунной фибры, которая подвергалась рассеву на фракции размером от 1,1 мм до 3,3 мм на специальных ситах с квадратными ячейками. При этом часть фибры была подвергнута высокотемпературному отжигу при температуре 900 °С в течение 60 мин. В дальнейшем по специальной методике были приготовлены поперечные шлифы образцов фибры, как в литом, так и отожженном состоянии.

Металлографический анализ показал, что литая фибра имеет структуру белого доэвтектического чугуна, которая сформировать

за счет быстрого охлаждения сплава из жидкого состояния. После отжига фибры в ее структуре появляется компактный хлопьевидный графит, характерный для ковкого чугуна. В зависимости от режима отжига можно получать металлическую основу фибры, как в виде феррита, феррита-перлита и перлита (пластинчатого, либо зернистого).

Это в свою очередь позволяет заменить сталь и обеспечить требуемые свойства фибробетона. В дальнейшем проводились лабораторные испытания и оценивались физико-механические и гидрофизические свойства фибробетона.

В сталефибробетоне в качестве фибры использовали стальной материал полученный в результате НИР на Механико – технологическом факультете БНТУ в научно-исследовательской лаборатории НИИЛ ЛИТ. Наименование стальной фибры представлены в таблице 1

Таблица 1

Наименование стальной фибры

Наименование фибры	Способ получения фибры и фракции,мм
№1	Литая ледебуритная, сито квадрат, фракция 3,3 – 1,1 мм
№2	Отжиг графитизирующий, сито квадрат, фракция 3,3 – 1,1 мм
№3	Литая дробленная ледебуритная, сито квадрат, фракция 2-3 мм
№4	Отжиг графитизирующий, сито квадрат, фракция >3,3 мм
№5	Литая дробленная ледебуритная, сито квадрат, фракция 3-5 мм
№6	Литая ледебуритная, сито квадрат, проход через 1,1 мм
№7	Литая ледебуритная, сито круглое, проход через 1мм
№8	Литая дробленная ледебуритная, сито квадрат, проход через 2мм,
№9	Отжиг графитизирующий, сито квадрат, проход через 1,1мм
№10	Литая ледебуритная, сито квадрат, фракция>3,3 мм

Для получения фибробетона использовали строительные материалы, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Расходы материалов для приготовления фибробетона

Наименование состава	Расход составляющих, кг на 1 м ³ бетонной смеси					
	цемент	песок	щебень	вода	добавка	фибра металлическая*
Контрольный	340	850	1050	160	1,7	0
№1-№10	340	850	1050	160	1,7	20...30

Исследование изменения водопоглощения бетона в зависимости от количества введенной стальной фибры осуществляли с использованием ГОСТ 12730.3.-78 [2]. Результаты приведены в таблице 3

Таблица 3

Влияние количества введенной стальной фибры на водопоглощение бетона

Расход фибры, кг/ м ³ бетона	0	20	30
Водопоглощение бетона по массе, %	2,60	2,46	2,56

Анализ результатов таблицы 3 показывает, что увеличение количества введенной фибры (до 30кг) незначительно влияет на изменение водопоглощения бетона. При максимальном расходе фибры в исследованиях (30 кг фибры на 1 м³ бетона), водопоглощение бетона по массе не превышает его нормативного значения (для тяжелого бетона с крупным заполнителем $W_m \leq 5\%$) и контрольных образцов без фибры. Следовательно, при проектировании состава сталефибробетона необходимо руководствоваться оптимальным значением расхода фибры.

Исследование изменения прочности бетона на растяжение при изгибе в зависимости от количества введенной стальной фибры осуществляли на основании ГОСТ 10180-2012 [3]. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4

Прочность бетона на растяжение при изгибе

Состав бетона	Прочность бетона на растяжение при изгибе, МПа	Относительная прочность, %
Контрольный (без фибры)	5,34	100,0
2 (30 кг. фибры)	5,64	105,6
3 (30 кг. фибры)	5,54	103,8
6 (20 кг. фибры)	6,36	119,0
10 (20 кг. фибры)	5,98	112,0

Анализ результатов таблицы 4 показывает, что введение фибры способствует увеличению прочности бетона на растяжение при изгибе. Наибольший прирост прочности по сравнению с контрольными (без фибры), имеют образцы состава 6 и 10 (с 20 кг фибры на 1 м³ бетона).

Физико-механические и эксплуатационные характеристики сталефибробетона представлено в таблице 5.

Таблица 5

Физико-механические и эксплуатационные характеристики сталефибробетона

Наименование состава	Истираемость бетона, г/см ²	Прочность на сжатие, МПа	Ударная прочность, Дж/см ³	Водонепроницаемость бетона, МПа
Контрольный	0,68	39,0	0,1	0,6
№1	0,58	39,2	0,1	0,6
№2	0,58	39,4	0,1	0,6
№3	0,55	38,9	0,1	0,6
№4	0,56	39,5	0,1	0,6
№5	0,59	39,4	0,1	0,6
№6	0,58	39,2	0,1	0,6
№7	0,59	39,8	0,1	0,6
№8	0,58	39,4	0,1	0,6
№9	0,57	39,5	0,1	0,6
№10	0,56	39,0	0,1	0,6

Анализ результатов физико-механических и эксплуатационных свойства фибробетона показал, что с введением стальной литой фибры ударная прочность и водонепроницаемость фибробетона не изменилась по сравнению с контрольным бетоном без фибры. Во-

допоглощение фибробетона в среднем уменьшилась на 2...5 % в зависимости от количества вводимой фибры. С увеличением фибры на 1 м³ бетона, водопоглощение фибробетона по массе увеличивается, что нужно учитывать при проектировании оптимальных составов. Истираемость фибробетона уменьшилась на 15%, что говорит об увеличении эксплуатационного срока применения данного материала. Незначительно выросла и прочность фибробетона на сжатие, введение фибры способствует также увеличению прочности бетона на растяжение при изгибе, что является положительным фактором.

Фибробетон рекомендуется применять в конструкциях зданий и сооружений, для которых существенное значение имеют снижение собственного веса, уменьшение раскрытия трещин, обеспечение водонепроницаемости бетона, повышение: ударной стойкости, сопротивления истиранию, продавливанию и долговечности. При проектировании состава сталефибробетона необходимо руководствоваться оптимальным значением расхода фибры, учитывать плотность бетона – матрицы, а также физико-механические и эксплуатационные свойства фибробетона: водопоглощение, прочности бетона на растяжение при изгибе и на сжатие.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ способов получения стальной фибры для армирования железобетонных конструкций / В.А. Шейнерт [и др.] // Материалы 14-ой Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике». – Минск, 2016. – Т.1. – С. 321.
2. Бетоны. Метод определения водопоглощения: ГОСТ 12730.3–78. – Введ. 01.01.1980. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004, – 4 с.
3. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. – Госстандарт, 2015. – 29 с.
4. Отработка технологических режимов получения литой фибры в лабораторных условиях / В.А. Шейнерт, А.Г. Слуцкий, О.Г. Галузо, И.Л. Кулинич // Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов – Минск: БНТУ, 2017. – Вып. 38. – С. 91–95.