

7. Чан, Су Исследование состава и свойств карбонатных соединений трехвалентного церия / Су Чан, Ши И. // Журнал неорганической химии. – 1960. – Т. 5. – С. 372–380.

8. Амброжий, М.Н. Термическое разложение карбонатов редкоземельных элементов цериевой подгруппы / М.Н. Амброжий, Е.Ф. Лучникова, М.И. Сидорова // Журнал неорганической химии. – 1960. – Т. 5. – Вып. 2. – С. 366–371.

9. Способ извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса: заявка на выдачу патента Республики Беларусь МПК 7 С 01F 17/00 / Зык В.В. – № а 20010902; заявл. 26.10.2001; Решение о выдаче патента на изобретение 21.10.2004 // Официальный бюллетень / Госуд. пат. ведомство Респ. Беларусь. – 2003. – № 2. – С. 33.

*УДК 621.745.669.13*

**В.А. ШЕЙНЕРТ,  
О.Г. ГАЛУЗО, канд. техн. наук,  
И.Л. КУЛИНИЧ,  
Е.В. ГОЛОВАТАЯ (БНТУ)**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ЛИТОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФИБРЫ ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Расширение областей и объемов применения бетона и железобетона в строительстве, ужесточение условий эксплуатации конструкций из него, требует постоянного совершенствования его прочности, трещиностойкости, сопротивления ударным и динамическим воздействиям, абразивному износу и т.д. Серьезное улучшение прочностных свойств и эксплуатационной надежности железобетонных конструкций при использовании традиционных технологий их строительства и ремонта представляется весьма проблематичным.

В то же время известны методы значительного повышения рабочих характеристик и эксплуатационного ресурса вышеперечислен-

ных конструкций за счет применения при их изготовлении сталефибробетона, т.е. бетона с добавлением стальных волокон (фибр).

Сталефибробетон обладает набором специфических свойств, существенно превосходящих свойства обычного бетона и в мировой практике занимает значительную долю (12–15 %) в общем объеме используемого бетона, для чего налажено серийное производство стальных фибр порядка 350–400 тыс. т в год. Мировая практика строительства выявила фибробетон, как один из перспективных строительных материалов XXI века. Свойства сталефибробетона в сравнении с обычным бетоном имеют существенные преимущества:

- увеличение прочности при сжатии до 25 %;
- повышение прочности на растяжение при изгибе до 250 %;
- увеличение прочности при осевом растяжении до 60–80 %;
- повышение сопротивления удару до 10–12 раз;
- увеличение модуля упругости до 20 %;
- повышение долговечности конструкций и увеличение межремонтного цикла при их эксплуатации в 1,8–2,0 раза;
- повышается морозостойкость, водонепроницаемость, сопротивление знакопеременным температурам, сопротивление абразивному износу и др.;
- фибровое армирование придает бетонной матрице пластический характер разрушения и повышенную трещиностойкость.

При возведении железобетонных конструкций из традиционного бетона наиболее трудоемкими являются арматурные работы. Изготовление сеток, каркасов, установка арматуры и ее закрепление в проектное положение, необходимость обеспечения защитного слоя бетона приводят к значительным затратам труда. Применение сталефибробетона в ряде случаев дает возможность исключить из конструкций часть, а иногда и полностью отказаться от традиционной стержневой арматуры и заменить ее фибровой.

Эффективность применения сталефибробетонных конструкций в этих случаях может быть достигнута за счет снижения трудозатрат на арматурные работы, сокращения расхода стали и бетона (за счет уменьшения толщины конструкции), совмещения технологических операций приготовления бетонной смеси и ее армирования, что, в конечном итоге, приводит к снижению трудоемкости изготовления конструкций на 25–27 % и экономии строительных материалов на 1 м<sup>3</sup> готового изделия. Кроме того, эффективность использования

сталефибробетона может выражаться в увеличении долговечности конструкций и снижении затрат на текущий ремонт.

Сталефибробетон, являясь разновидностью бетона, может оказать равноценное воздействие на строительную индустрию, как это произошло в свое время с изобретением железобетона.

Опыт таких развитых стран, как США, Великобритания, Япония, Германия, Италия, Франция и Австралия, убедительно показал технико-экономическую эффективность применения фибробетона в строительных конструкциях и сооружениях.

Из зарубежного опыта следует особо выделить применение фибробетонов в дорожном и тоннельном строительстве, строительстве морских платформ и плотин, а также в устройстве полов промышленных зданий, терминалов, и т.п. Достаточно сказать, что сейчас в Германии более 25 % всех промышленных полов выполняется из сталефибробетона. Считается целесообразным применение сталефибробетона в каркасных конструкциях зданий, особенно при возможных сейсмических воздействиях.

В настоящее время в отечественной практике в опытном порядке внедрены такие сталефибробетонные конструкции, как сваи, дорожные, тротуарные и аэродромные плиты, ребристые и складчатые плиты покрытий, кольца округлых смотровых колодцев, трубы, лотки, плиты пола и несъемной опалубки, ограждения лоджий и балконов, банковские хранилища.

Стальная литая фибра производится непосредственно из расплава металла, причем экспериментально установлена возможность получения стальной фибры способом, отличным от существующего – экструдирования из расплава, и имеющим ряд неоспоримых преимуществ. В настоящее время известно несколько способов получения литой стальной фибры [1, 2].

В основу технологии получения стальной литой фибры положен способ электроплавки стали с последующим диспергированием расплава на специальной установке. Она представляет собой электромеханический комплекс устройств и агрегатов, позволяющий производить конечную продукцию непосредственно из исходной шихты в одну стадию. Экспериментальная лабораторная установка для получения литой фибры состоит из следующих основных узлов: механическая часть с электроприводом, электродуговая часть, рабочая камера с системой вентиляции.

Процесс получения литой стальной фибры на экспериментальной лабораторной установке сводится к следующему: при подаче электрического напряжения питания от источника тока между расходуемым стальным электродом и графитовым диспергатором возбуждается дуговой разряд. 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, приводимого электродвигателем во вращение вокруг вертикальной оси через шпиндель, скользящий контакт 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 [2, 3].

Ниже представлены результаты лабораторных испытаний образцов металлической фибры.

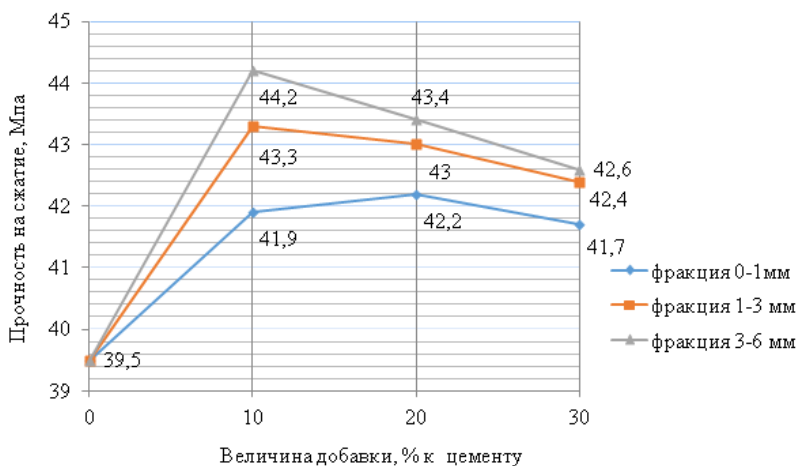


Рисунок 1 – Влияние добавок металлической фибры на прочность бетона на сжатие

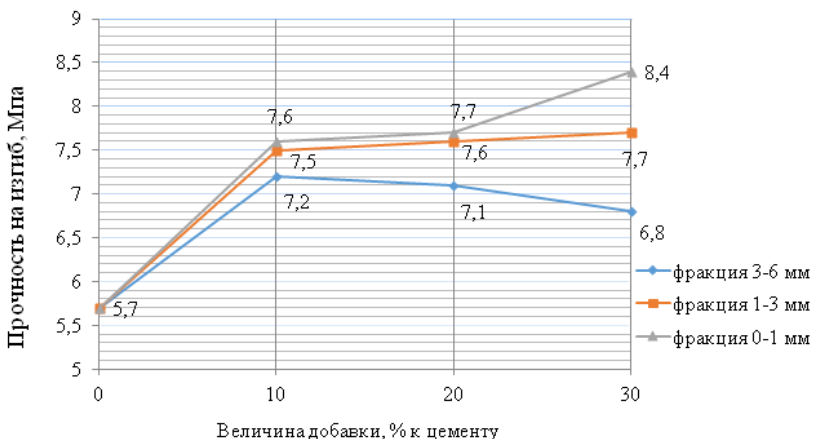


Рисунок 2 – Влияние добавок металлической фибры на прочность бетона на изгиб

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, обеспечивающего 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 [4]. По такой методике были получены опытные образцы литой фибры.

Составы фибробетона приведены в таблице 1.

Водопоглощение и морозостойкость фибробетонного материала определяют на образцах-кубах с ребром 70 мм. Марку по морозостойкости принимают за соответствующую требуемой, если среднее значение прочности на сжатие основных образцов после установленных для данной марки числа циклов переменного замораживания и оттаивания уменьшилось не более чем на 5 % по сравнению со средней прочностью на сжатие контрольных образцов [4].

Таблица 1 – Расходы материалов для приготовления фибробетона

Наименование состава	Расход составляющих, кг на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси					
	Цемент	Песок	Щебень	Вода	Добавка	Фибра металлическая
Контрольный	340	850	1050	160	1,7	0
№ 1	340	850	1050	160	1,7	30
№ 2	340	850	1050	160	1,7	30
№ 3	340	850	1050	160	1,7	30
№ 4	340	850	1050	160	1,7	30
№ 5	340	850	1050	160	1,7	30
№ 6	340	850	1050	160	1,7	20
№ 7	340	850	1050	160	1,7	20
№ 8	340	850	1050	160	1,7	20
№ 9	340	850	1050	160	1,7	20
№ 10	340	850	1050	160	1,7	20

Предел прочности при изгибе и трещиностойкость определяют согласно [5] на образцах балочках размерами 70×70×280 мм.

Водонепроницаемость фибробетона определяют на образцах диаметром 150 мм и толщиной 30 мм [4].

Для проведения испытания ударной прочности изготавливаются три образца цилиндрической формы диаметром и высотой, равными (25 ± 1) мм.

Образец устанавливают на опору и прижимают по центру устройством со сферической поверхностью. Стальной груз опускают с высоты 1 см. Последующие удары производят, увеличивая высоту падения груза на 1 см до появления видимых трещин или до разрушения образца [4].

В дальнейшем проводились лабораторные испытания и оценивались физико-механические и гидрофизические свойства фибробетона (таблицы 2–4).

Анализ результатов физико-механических и эксплуатационных свойства фибробетона показал, что с введением металлической литой фибры водонепроницаемость фибробетона не изменилась по

сравнению с контрольным бетоном без фибры. При этом водопоглощение фибробетона уменьшилось на 4–12 % за исключением составов 1, 3, 9, а истираемость уменьшилась на 15 %, что говорит об увеличении эксплуатационного срока применения данного материала. Незначительно выросла и прочность фибробетона на сжатие, что также является положительным фактором.

Таблица 2 – Водопоглощение фибробетона

Наименование состава	Контрольный	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
Водопоглощение бетона по массе, %	2,6	2,7	2,5	2,6	2,5	2,5	2,4	2,5	2,5	2,6	2,3

Таблица 3 – Истираемость фибробетона

Наименование состава	Контрольный	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
Истираемость бетона, г/см <sup>2</sup>	0,68	0,58	0,58	0,55	0,56	0,59	0,58	0,59	0,58	0,57	0,56

Таблица 4 – Водонепроницаемость фибробетона

Наименование состава	Контрольный	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
Водонепроницаемость бетона, МПа	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

### Список литературы

**1. Анализ** способов получения стальной фибры для армирования железобетонных конструкций / В.А. Шейнерт [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 14-ой Междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2016. – Т. 1. – С. 321.

**2. Получение** литой стальной фибры для армирования бетонных конструкций в лабораторных условиях / В.А. Шейнерт [и др.] // Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2016. – Вып. 37. – С. 132–135.

**3. Шейнерт, В.А.** Получение литой фибры для армирования бетонных конструкций / В.А. Шейнерт, О.Г. Галузо, И.Л. Кулинич // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 15-ой Междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2017 – Т. 1. – С. 381.

**4. Отработка** технологических режимов получения литой фибры в лабораторных условиях / В.А. Шейнерт [и др.] // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.* – Минск: БНТУ, 2017. – Вып. 38. – С. 91–95.

**5. Бетоны.** Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180–90. Введ. 01.01.1991. – М.: Стандартинформ, 2006. – 31 с.

*УДК 621.791.05*

**Т.И. БЕНДИК**, канд. техн. наук,  
**Н.И. УРБАНОВИЧ**, канд. техн. наук (БНТУ)

## **АНАЛИЗ РАСЧЕТНОЙ ТОЛЩИНЫ СВАРНЫХ ШВОВ ПО МАКРОШЛИФАМ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОЕДИНЕНИЙ**

Форма и величина проплавления сварного шва являются основными факторами, определяющими работоспособность соединений при статических и усталостных нагрузках. Важным этапом проектирования является выбор типов сварных соединений и соответствующих способов сварки.

В отдельных случаях принятие решения на этапе разработки и конструирования может потребовать подтверждения расчетной толщины шва посредством выполнения контрольного образца для оценки геометрических параметров сварного соединения (проектирование и расчет в сочетании с испытаниями).

В представленном материале изложены особенности определения основных конструктивных элементов стыковых и угловых сварных швов, которые характерны для проведения прочностных расчетов.

При вычислении статической прочности сварных швов можно выделить следующие расчетные ситуации:

1. Швы выполнены с конструктивно гарантированным полным проплавлением, т.е. обеспечивается расчетная толщина шва  $a_w$  [1]