

УДК 624.014:624.016

**Е. П. КАПУСТИНА**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПРИ УСИЛЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ  
НА ИЗГИБ**

**Аннотация.** В статье обоснована актуальность темы исследования. Указаны основные повреждения металлических конструкций. Рассмотрены основные композиционные материалы, применяемые в строительстве. Отмечены крупнейшие производители композитных материалов, чья продукция представлена на отечественном рынке. Произведен сравнительный анализ характеристик данных материалов. Приведены преимущества и недостатки применения рассмотренных материалов при усилении металлических конструкций.

**Ключевые слова:** усиление, углеродные волокна, композитный материал, металлические конструкции.

**ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

В последнее время композиционные полимерные материалы заполнили отечественный строительный рынок. Их выпускают в виде тканей, холстов, сеток, ламелей. Эти материалы представляют собой армированные волокнами полимеры. Из наиболее часто встречающихся в строительной литературе хочется отметить полимеры, армированные углеродными, арамидными и стеклянными волокнами. Эти материалы обладают прекрасными физико-механическими свойствами, такими как: высокая прочность, малый вес, высокий модуль упругости и т. д. Именно поэтому современные методы усиления строительных конструкций с помощью композиционных полимерных материалов легко могут конкурировать с другими существующими методами усиления. Хочется отметить, что композиционные материалы довольно успешно используют в отечественной строительной отрасли при реконструкции и реставрации железобетонных и деревянных конструкций зданий и сооружений, однако практически не исследован вопрос усиления металлических конструкций данными материалами.

**АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Анализ опубликованных исследований, испытаний и существующих нормативных документов показал, что в отечественной практике чаще всего использование композитных материалов встречается при усилении железобетонных конструкций. Изучением данного направления занимались В. А. Пшеничный, И. Г. Овчинников, И. И. Овчинников, В. С. Зиновьев, Ш. Н. Валиев, А. А. Шилина, А. Л. Мочалов, В. Л. Чернявский, А. Н. Костенко, Михуб Ахмад, А. В. Грановский, Л. И. Юдина и т. д. Из нормативных документов можно отметить, опубликованные в России [5], [6].

Так же использование композитных материалов встречается при усилении деревянных конструкций. Исследованиями в данной области занимались Э. В. Филимонов, Н. В. Линьков, А. В. Тихонов и т. д.

Анализ отечественной научной литературы показал, что исследования в области усиления металлических конструкций с использованием композиционных материалов практически отсутствуют.

## ЦЕЛЬ

Сравнительный анализ физико-механических свойств композиционных материалов на основе арамидных, углеродных и стеклянных волокон, представленных на отечественном рынке строительных материалов. Анализ особенностей применения композиционных материалов при усилении металлических конструкций, работающих на изгиб.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В процессе функционирования зданий и сооружений конструкции подвергаются воздействию эксплуатационных факторов, которые вызывают их физический износ. Хочется отметить, что в общем объеме строительного фонда значительную часть занимают именно металлические конструкции.

Основные дефекты металлических конструкций, возникающие вследствие физического износа: коррозия, усталостные разрушения металла, прогибы, дефекты сварных швов, трещины, потеря устойчивости и т. д.

В работе [1] отмечается, что более 70 % металлических строительных конструкций эксплуатируются в атмосфере промышленных районов или подвержены непосредственному воздействию агрессивных газов, запылению, увлажнению, обусловленному технологией производства. Именно поэтому наиболее часто для стальных конструкций встречается атмосферная коррозия. Она сопровождается образованием ржавчины, возникающей в результате химической реакции между окружающей средой и металлом.

Известно, что коррозия может существенно снижать несущую способность конструкций.

При снижении несущей способности конструкции:

- до 5 %, производится профилактический ремонт;
- до 15 %, производится ремонт, устраняющий выявленные повреждения;
- до 25 % производится капитальный ремонт с усилением поврежденной конструкции.
- при аварийном состоянии, как правило, производят замену конструкций.

Для усиления металлических конструкций применяют несколько основных способов:

- увеличение площади поперечного сечения;
- изменение конструктивной схемы каркаса или его элементов;
- регулирование напряжений.

Если говорить о металлических конструкциях, работающих на изгиб, например балках, то их усиление может осуществляться любым из вышеуказанных способов.

При усилении металлических балок путем увеличением сечения, как правило, используются металлические пластины, накладки, уголки, швеллеры и т. д. Основными способами присоединения элементов усиления к усиливаемым конструкциям являются высокопрочные болты, сварка, заклепки. Хочется отметить, что эти способы имеют ряд недостатков. Использование металлических элементов усиления приводит к увеличению собственного веса усиливаемой конструкции. Также при присоединении элементов с помощью сварки, необходимо учитывать временное снижение несущей способности конструкций за счет их нагрева и накопление остаточных деформаций. При присоединении элементов с помощью болтов или заклепок необходимо устраивать отверстия. В связи с чем, необходимо учитывать перераспределение напряжений в конструкции, и как следствие концентрацию напряжений вокруг отверстий. Иногда увеличение сечения балки производят с помощью бетона, железобетона, однако эти методы также приводят к увеличению собственного веса конструкции.

Применение современных композиционных материалов при усилении металлических балок увеличением сечения позволяет возобновить несущую способность конструкции или увеличить ее, не сталкиваясь с указанными трудностями.

Рассмотрим композиционные материалы, представленные на отечественном рынке.

Например, производитель MBRACE предлагает композиционные материалы на основе углеродных, арамидных и стеклянных волокон (рис.), (табл.).

Из таблицы видно, что прочность углетканей на 1 700 МПа выше, чем прочность арамидных тканей, и больше чем в 2 раза выше прочности тканей армированных стеклянными волокнами. Модуль упругости углеродных материалов также больше чем в 2 раза, выше модуля упругости тканей с арамидными и стеклянными волокнами.

Хочется отметить, что модуль упругости углеткани (230 ГПа) близкий по своему значению с модулем упругости стали (200–220 ГПа), а прочность углеткани выше прочности стали. Композиционные материалы, армированные арамидными и стеклянными волокнами, такими характеристиками



Холсты на основе углеродных волокон



Холсты на основе арамидных волокон



Холсты на основе стеклянных волокон

Рисунок – Материалы MBRACE.

Таблица – Композиционные материалы MBRACE

	Холст с углеродными однонаправленными волокнами	Холст с арамидными однонаправленными волокнами	Холст с стеклянными однонаправленными волокнами
Прочность, МПа	4 900	3 200	2 300
Модуль упругости, ГПа	230	120	76
Удельный вес, г/м <sup>2</sup>	155–600	280–415	935
Толщина, мм	0,086–0,337	0,194–0,288	0,360
Ширина, мм	500	300	500

не обладают. Из этого следует, что для усиления металлических балок предпочтительнее применять материалы на основе углеродных волокон.

Преимущества использования композиционных материалов на основе углеродного волокна при усилении металлических конструкций:

- малый вес;
- устойчивость к агрессивным средам;
- высокая степень выносливости;
- малая трудоемкость выполнения работ;
- легкая транспортабельность;
- минимальные требования к пространству для выполнения работ;
- отсутствие сварочных работ;
- малая толщина материала;
- долговечность.

Недостатки:

- высокая стоимость;
- необходимость устройства изолирующего слоя между углеродным материалом и усиливаемым металлическим элементом во избежание протекания электрохимической коррозии.

Проанализировав предложенные на строительном рынке композиционные материалы на основе углеродных волокон, можно выделить несколько наиболее крупных производителей Sika (Швейцария), MBrace (Россия), FibARM (Россия), Carboline (Украина).

## ВЫВОДЫ

Проанализировав литературу, посвященную усилению металлических конструкций композиционными полимерными материалами, можно сделать вывод, что полученные в результате усиления соединения получаются достаточно надежными. Современный строительный рынок предоставляет огромный выбор вышеуказанных материалов. Однако наибольшей популярностью пользуются материалы на основе углеродных волокон. Это можно объяснить тем, что эти материалы обладают более высокими физико-механическими свойствами, чем материалы, армированные арамидными или стеклянными волокнами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усиление пролетных строений мостов материалами на основе однонаправленных высокопрочных углеродных волокон [Текст] : СТО-01-2011 / ЗАО «Компания "Дорис"». – Введен впервые. – Волгоград : [Б. и.], 2011. – 55 с.
2. Усиление металлических конструкций фиброармированными пластиками [Электронный ресурс] : Часть 1. Состояние проблемы [Текст] / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Г. В. Чесноков [и др.] // интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – Вып. 3. – Режим доступа : <https://naukovedenie.ru/PDF/19TVN314.pdf>.
3. Усиление металлических конструкций фиброармированными пластиками [Электронный ресурс] : Часть 2. Применение метода предельных состояний к расчету растягиваемых и изгибаемых конструкций / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Г. В. Чесноков [и др.] // интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – Вып. 3. – Режим доступа : <https://naukovedenie.ru/PDF/20TVN314.pdf>.
4. Костенко, А. Н. Прочность и деформативность центрально и внецентренно сжатых кирпичных и железобетонных колонн, усиленных угле- и стекловолокном [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / А. Н. Костенко. – Москва : МГУ, 2010. – 29 с.
5. Дьячкова, А. А. Расчет усиления железобетонных плит углеродными композиционными материалами [Текст] / А. А. Дьячкова, В. Д. Кузнецов // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 3. – С. 25–28.
6. СТО 2256-002-2011. Стандарт организации. Система внешнего армирования из полимерных композитов FibARM R для ремонта и усиления строительных конструкций [Текст] / ЗАО «Препрег-СКМ» при участии НИИЖБ. – Введен впервые. – М. : ЗАО «Препрег-СКМ», 2012. – 61 с.
7. ТУ 1916-005-61664530-2011. Углеродные однонаправленные ленты для систем внешнего армирования (СВА). Технические условия [Текст] / ЗАО «Препрег-СКМ». – Вводятся впервые ; введ. 2011-06-01. – М. : [б. и.], 2011. – 24 с.
8. Guidelines for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures [Текст]. Metallic structures. Preliminary study : CNR-DT 202/2005 / National Research Council, Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction. – Rome : CNR, 2007. – 57 p.

Получено 02.10.2017

К. П. КАПУСТИНА

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ПОСИЛЕННІ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ВИГІН ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У статті обґрунтовано актуальність теми дослідження. Вказані основні пошкодження металевих конструкцій. Розглянуто основні композиційні матеріали, що застосовуються в будівництві. Відзначені найбільші виробники композитних матеріалів, чия продукція представлена на вітчизняному ринку. Зроблено порівняльний аналіз характеристик даних матеріалів. Наведено переваги та недоліки застосування розглянутих матеріалів при посиленні металевих конструкцій.

**Ключові слова:** посилення, вуглецеві волокна, композитний матеріал, металеві конструкції.

EKATERINA KAPUSTINA

APPLICATION OF COMPOSITE POLYMERIC MATERIALS IN STRENGTHENING OF METAL STRUCTURES WORKING ON BENDING  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The article substantiates the relevance of the research topic. The main damage to metal structures has been given. The main composite materials used in construction have been considered. It has been given the largest manufacturers of composite materials, whose products presented on the Russian market. Comparative analysis of the characteristics of these materials has been carried out. The advantages and disadvantages of the described materials in strengthening of steel structures have been given.

**Key words:** strengthening, carbon fibers, composite material, metal structures.

**Капустина Екатерина Павловна** – ассистент кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование прочности и деформативности металлических конструкций, усиленных композиционными полимерными материалами на основе углеродного волокна.

**Капустіна Катерина Павлівна** – асистент кафедри технології і організації будівництва ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження міцності та деформативності металевих конструкцій, посилені полімерними композиційними матеріалами на основі вуглецевого волокна.

**Kapustina Ekaterina** – assistant, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: investigation of the strength and deformability of steel structures, reinforced composite polymer materials based on carbon fibers.