

## УСИЛЕНИЕ ИЗГИБАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ УГЛЕВОЛОКНА

Klyuyev@yandex.ru

*В статье рассмотрены вопросы усиления изгибаемых конструкций композитами на основе углеволокна. Проведены экспериментальные исследования изгибаемых конструкций.*

**Ключевые слова:** мелкозернистый бетон, усиление, изгибаемые конструкции.

Усиление и восстановление железобетонных армированных конструкций с применением прогрессивных композиционных материалов в настоящее время получает широкое распространение. Это обусловлено наличием у данных материалов таких преимущественных свойств, как легкость, высокая прочность, коррозионная устойчивость, простота производства.

Растет необходимость разработки композиций для новых инфраструктурных систем, что позволит вести более длительную эксплуатацию и вносить меньшие затраты на ремонт. В целом, железобетонные конструкции нуждаются в усилении по причине их повреждения, например вследствие коррозии арматуры, а также недочетов и ошибок в проектировании и конструировании, изменений в функциональном назначении или нагружении, либо несоблюдения строительных норм и правил.

Сфера использования железобетонных конструкций в России в настоящий момент весьма широка. В то же время многие сооружения меняют свое функциональное назначение. Это приводит к необходимости производить и проектировать более экономичные, легкие, надежные и долговечные конструкции. Увеличиваются перекрываемые пролеты, высота зданий и сооружений и традиционные материалы не в состоянии решить весь комплекс поставленных задач. Использование композиционных материалов в состоянии разрешить данные проблемы. Выяснилось, что среди них существуют такие, которые имеют широкий спектр применения: это в первую очередь полимеры, армированные волокнами, среди которых наиболее распространены углеродные волокна и стекловолокно [2].

Восстановление железобетонных конструкций связано с решением ряда проблем:

- остановки коррозии арматуры и бетона;
- восстановление сечения конструкции;
- устройства дополнительного армирования с целью компенсации потерь прокорродирован-

шей арматуры, а так же из-за увеличения действующих нагрузок;

- обеспечение защиты конструкций от вредного воздействия внешней среды.

Используемые для ремонта и усиления конструкций композитные материалы на базе углеродных волокон можно подразделить на две группы – формируемые непосредственно при производстве работ на строительном объекте и заводского изготовления. Первая группа представляет собой углеродную ткань с расположением волокон в одном (однонаправленные, рис. 1) или в двух (двунаправленные) направлениях. Эти ткани поставляются в рулонах и применяются при так называемом «мокром» способе. Они наклеиваются на поверхность восстанавливаемой или усиливаемой конструкции послойно с помощью специальных эпоксидных смол с пропиткой смолами каждого слоя, каждый формируется при отверждении смолы в естественных условиях.

Композиты второй группы – жесткие, как правило, однонаправленные, ленты производятся в заводских условиях путем пропитки угольной ткани в ванне с эпоксидным составом, формирования пакета из необходимого количества слоев пропитанной ткани и последующей его термообработкой до полного отверждения смолы. Полученные жесткие композиционные ленты называют ламинатами. Ламинаты наклеивают на усиливаемую конструкцию, как правило, одним слоем.

Стоимость ламинатов значительно выше стоимости тканей, однако трудоемкость работ при их использовании значительно ниже, чем при мокром (послойном) способе усиления. Кроме того, возможности применения мокрого способа формирования композита шире, чем при использовании ламинатов, так как с помощью мягкой ткани можно легко выполнять даже сложные пространственные формы с объемным перераспределением зданий в восстанавливаемых элементах конструкций.

Усиление строительных конструкций с их помощью во многих случаях оказывается экономически целесообразным, так как реконструкцию можно выполнять без вывода сооружения из эксплуатации, при этом значительно сокращается трудоемкость выполнения работ. В

ряде случаев усиление строительных конструкций композитными материалами по совокупности затрат оказывается более эффективным, чем традиционными методами. На рис. 1 представлена ткань, применяемая для внешнего армирования.

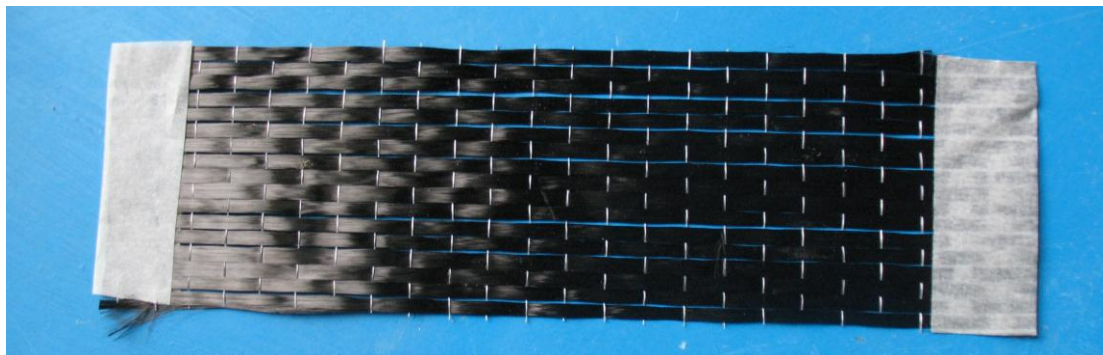


Рисунок 1. Углеродная однонаправленная ткань

Успех применения композитных материалов для усиления строительных конструкций зависит не только от выбора эффективных композитов, но в значительной мере, от разрешения проблем совместности их работы с восстанавливаемой или усиливаемой конструкцией. Это связано с выбором материалов и технологий для ремонта деструктивной поверхности железобетона, обеспечивающих их высокую адгезию в подложке. Этот ремонтный слой, в свою очередь, должен быть надежным основанием для приклейки усиливающих композитных материалов и работать с ними совместно. Подготовка железобетонной конструкции к ремонту и последующему усилению должна включать мероприятия по блокированию коррозии арматуры, которая, как правило, развивается при первых признаках деструкции. Без этого, образующиеся продукты коррозии будут отрывать защитный слой из ремонтных материалов, что сведет на нет работы по наклейке композитов.

Система внешнего армирования предусматривает использование материалов и технологии ремонта, обеспечивающих остановку и предотвращение дальнейшего развития коррозии арматуры и бетона, надежное сцепление ремонтных составов со старым бетоном, повышенную водонепроницаемость, морозостойкость и химическую стойкость. К числу таких материалов относятся: пенетрирующие ингибиторы коррозии арматуры; специальные латексные эмульсии для повышения сцепления со старым бетоном; полимерцементные сухие смеси с быстрым набором прочности; защитные покрытия для предотвращения проникновения ионов хлора; низковязкие эпоксидные составы для ремонта трещин и специальные эпоксидные ком-

паунды для ремонта конструкций в условиях повышенной влажности и под водой.

В систему ремонта входит также усиление конструкций. Усиление конструкций осуществляется путем внешнего армирования особо высокопрочными тканями из углеродных и специальных стеклянных волокон на эпоксидном связующем. Армирующие элементы создаются наклейкой соответствующих тканей на отремонтированную поверхность специальными эпоксидными составами, обеспечивающими надежное сцепление с бетоном и ремонтными материалами [1].

В зависимости от вида тканей и количества слоев несущая способность может быть существенно увеличена. Высокие прочностные характеристики и стойкость к различным агрессивным воздействиям делают привлекательным применение таких материалов при усилении пролетных строений и опор мостов. Во многих случаях усиление железобетонных конструкций композитными материалами по совокупности затрат оказывается более эффективным, чем традиционные. Усиление стальных, бетонных, каменных и деревянных конструкций применяется в случае:

- увеличения эксплуатационных нагрузок в промышленных и гражданских объектах;
- увеличения эксплуатационных нагрузок на мостах;
- перепрофилирования сооружений;
- повреждения несущих конструкций;
- старения конструкционных материалов;
- коррозии арматуры;
- ударов транспортных средств;
- пожаров;
- землетрясений;

- исправления условий использования конструкции: ограничения упругости, релаксация напряжений в арматуре; уменьшение ширины раскрытия трещин;

- изменения статической схемы: удаление стен, опор, фрагментов перекрытий (дополнительные проемы в перекрытиях);

- исправление ошибок проектирования и строительства: слишком малые сечения арматуры; недостаточные размеры элементов.

*Свойства внешней тканой арматуры:* небольшая собственная масса; небольшие размеры; достаточно большая транспортная длина; простая транспортировка материала; довольно простое скрещивание лент в произвольном направлении; снижение стоимости работ при усилении без использования кранового оборудования и поддерживающих опор; очень высокая прочность при растяжении; очень высокая прочность при деформациях; различные модули упругости; возможность покрытия различными материалами без подготовки поверхности; стойкость к коррозии.

*Ограничения:* систему необходимо предохранять от непосредственного воздействия солнечных лучей, например, нанести защитное покрытие; возможно обесцвечивание клея; максимально допустимая температура использования системы составляет + 50°C.

Затвердевший материал можно утилизировать как пластмассу.

*Основание для нанесения* – бетон, поверхность его должна быть чистой, обезжиренной, шероховатой, без цементного молочка. Минимальный возраст бетона в зависимости от условий твердения может быть 3–6 недель. Подготовка поверхности: очистка струей песка или воды, шлифование.

Система может применяться на деревянных конструкциях. При этом поверхность должна быть очищена от жиров, а также элементов слабосвязанных с основанием, отшлифована.

Применение системы на стальных конструкциях: поверхность очищена, перед нанесением необходимо проверить поверхность металлической планкой, к которой должна приклеиваться лента. После соответствующей подготовки поверхность необходимо тщательно очистить промышленным пылесосом.

Проведенные экспериментальные исследования связаны с изучением поведения бетонных элементов усиленных композиционными материалами на растяжении при изгибе.

Для изготовления бетонных образцов применялся товарный цемент ЗАО «Белгородский цемент» Цем I 42,5Н, отходы мокрой магнитной сепарации (отходы ММС) и суперпластификатор.

В качестве заполнителя применялся отсева дробления кварцитопесчаника. Для получения более плотной упаковки заполнителя использовался песок Нижне-Ольшанского месторождения.

В качестве связующего, для внешнего армирования бетонной призмы, был использован клей эпоксидный марки ЭДП (ТУ 2385 – 012–54804491–2002), изготовленный из эпоксидной смолы ЭД-20. Клей предназначен для приклеивания углеродной ткани на бетонный образец. Соотношение между углеродной тканью и эпоксидным клеем 60 : 40. Испытывались призмы с размерами 100×100×400 мм (рис. 2).

На рис. 3. представлен характер разрушения бетонных призм. В таблице 1 представлены результаты испытания бетонных призм.

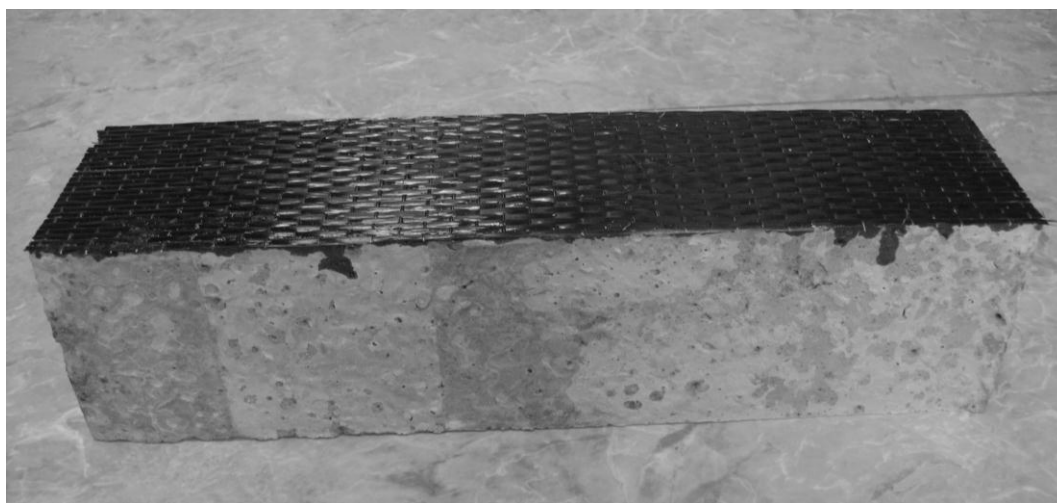


Рисунок 2. Усиленная призма углеродной тканью



Рисунок 3. Характер разрушения бетонных призм

Таблица 1

**Результаты испытаний на сжатие бетонных призм, усиленных углепластиком**

Количество слоев	Предел прочности при сжатии, МПа	Прирост прочности, %
0	12,4	–
1	24,8	200
2	29,3	236,3
3	31,6	254,8

Экспериментальная оценка показывает достаточно высокие результаты при использовании композитов на основе углеволокна. Испытания показывают нелинейное увеличение прочности усиленных образцов в зависимости от количества наклеенных слоев углеродных лент. Изменяется характер разрушения бетона, поскольку он работает совместно с косвенной внешней арматурой. При использовании косвенного армирования напряженное состояние бетона подобно трехосному сжатию, что позволяет усиленному образцу воспринимать более высокую нагрузку по сравнению с контрольными образцами.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Хаютин, Ю.Г. Повышение надежности железобетонных конструкций при ЧС (зарубежный опыт) [Текст] / Ю.Г. Хаютин, В.Л. Чернявский // Высотные здания. – 2007. – №3.
2. Чернявский, В.Л. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами [Текст] / В.Л. Чернявский, Е.З. Аксельрод // Жилищное строительство. – 2003. – №3. – С.15 – 16.