

Ремонт строительных конструкций и восстановление их несущей способности является сложной и многогранной задачей, которая актуальна для сооружений различного типа и назначения. К числу основных причин, вызывающих необходимость усиления существующих конструкций с целью сохранения, а иногда и увеличения их несущей способности, относятся перемены в использовании административных и промышленных зданий, повышение транспортных нагрузок на мосты, изменение конструкций или снижение несущей способности вследствие коррозии арматуры и разрушения бетона.

Стандартные решения усиления конструкций, основанные на установке внешней (предварительно напряженной) арматуры, увеличении поперечного сечения бетона (с дополнительной арматурой или без нее) либо на монтаже внешних, предварительно напряженных и ненапряженных стальных пластин, не всегда способны обеспечить требуемые результаты, а в некоторых случаях в силу целого ряда причин эти методы не могут быть применены.



СИСТЕМА УГЛЕВОЛОКОННОГО УСИЛЕНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ И ПРОМЫШЛЕННО-ГРАЖДАНСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Интенсивная научно-исследовательская работа, проведенная в Государственном центре испытаний и исследований материалов (EMPA) в Дюбendorf (Швейцария), выявила возможность применения некорродирующих пластин, изготовленных из полимеров, армированных углеродными волокнами (CPRF) для усиления строительных конструкций, выполненных из железобетона, монолитного бетона, каменной кладки, стали, алюминия или дерева. Дальнейшие разработки фирмы **Sika AG** привели к созданию системы

CarboDur, которую можно наносить (после соответствующей подготовки поверхности) без применения дополнительных приспособлений и устройств.

Компонентами системы являются:

- углепластиковые ламели (полосы) Sika CarboDur;
 - клей Sikadur-30 (эпоксидный клей для приклеивания ламелей).
- Область применения Sika CarboDur чрезвычайно обширна:
- восстановление несущей способности сооружений различного назначения при старении конструктивных материалов, коррозии стальных элементов и т.п.;
 - повышение несущей способности мостов и других транспортных сооружений при увеличении статической и динамической транспортной нагрузки;
 - сохранение несущей способности конструкций при изменении схемы силового каркаса (удаление несущих

стен и колонн, увеличение пролетов балок) и т.д.

Ламели Sika CarboDur представляют собой углеродные волокна в эпоксидной матрице (содержание углеродных волокон более 68%). Выпускается три вида ламелей (Sika CarboDur S, Sika CarboDur M, Sika CarboDur H), обладающих различными механическими характеристиками (табл. 1). Каждая из трех систем имеет свой набор типоразмеров, различающихся по ширине (от 50 до 150 мм) и толщине (1,2 и 1,4 мм), что дает возможность выбрать оптимальное решение для каждого конкретного случая усиления.

Из основных преимуществ системы Sika CarboDur можно отметить следующее: очень высокую прочность на растяжение, высочайшую усталостную прочность, устойчивость к воздействию щелочей и отсутствие коррозии. Необходимо учитывать, что при эксплуатации на открытом воздухе ламели требуют защиты от ультрафиолетового излучения.

По модулю упругости углепластик в среднем соответствует конструкционной стали, но по прочностным показателям значительно ее превосходит. В частности, сталь, применяемая в строительстве, как правило, имеет прочность на разрыв не более 50–60 кг/мм², в то время как аналогичный показатель ламелей Sika CarboDur составляет примерно 300 кг/мм² (табл. 1). Кроме того, плотность углепластика ниже плотности стали примерно в пять раз,

поэтому при равных прочностных показателях толщина и масса углеродных ламелей во много раз меньше толщины и массы стальных пластин (масса ламелей меньше в 22 раза).

Следует отметить, что наряду с высокими прочностными характеристиками система Sika CarboDur не имеет резерва пластической деформации (отсутствует площадка текучести).

В железобетонных конструкциях всю растягивающую нагрузку воспринимает арматура. Сталь — традиционный материал, используемый для армирования железобетонных конструкций, — имеет выраженную площадку текучести, вследствие чего под воздействием растягивающей нагрузки арматура увеличивается в длине до тех пор, пока напряжения не достигнут определенной величины. Несоответствие механических характеристик бетона и стали приводит к тому, что разрушение бетона начинается до того момента, когда прочность арматуры достигает необходимых значений.

Система Sika CarboDur достигает максимальной прочности на изгиб упрочненного железобетонного элемента при начале разрушения ламели (удлинение до разрушения не превышает 1,7%), во время пластической деформации стали, но перед разрушением бетона.

Технология производства работ требует соблюдения определенных требований: средняя прочность бетона на растяжение должна быть не менее 2 МПа, минимальная — 1,5 МПа, влаж-

ность основания не должна превышать 4%, а ламели следует защитить от воздействия прямого солнечного света. Работы можно проводить при температуре не ниже 10°C, причем температура воздуха и основания должна быть выше точки росы не менее чем на три градуса.

Поверхность, на которую будут наклеиваться ламели, необходимо подвергнуть пескоструйной обработке или шлифованию для удаления загрязнений, масляных пятен, цементного молочка и слабых фрагментов основания. Основание должно быть ровным (допустимая высота неровностей не более 0,5 мм), а отклонение профиля поверхности на длине 2 м не должно превышать 10 мм. Значительные полости и поры заполняют ремонтным раствором, в качестве которого может быть использован состав Sikadur-41 или клей Sikadur-30, смешанный с кварцевым песком в соотношении 1:1.

Ламели Sika CarboDur нарезают на куски необходимой длины алмазным отрезным диском, раскладывают на горизонтальной поверхности шлифованной стороной вверх и очищают от пыли и возможного загрязнения составом Colma Cleaner. Клей Sikadur-30 наносят на подготовленную ламель, устанавливают ее на требуемое место и прикатывают роликом, под давлением которого клей должен выдавиться с обеих сторон углепластиковой полосы. Излишки клея удаляют шпателем. Система Sika CarboDur не требует дополнительной механической фиксации и



- 1 Компоненты клея Sikadur-30 смешивают низкоскоростной мешалкой
- 2 Нанесение клея
- 3 Монтаж ламелей
- 4 Установленные ламели прикатывают ролик
- 5 Небольшая масса ламелей облегчает их транспортировку

выполняют свои функции в реальных условиях эксплуатации. Расчетный срок безотказной работы системы составляет 40–50 лет.

В нашей стране система материалов Sika CarboDur применяется сравнительно недавно и пока не известна широкому кругу специалистов.

Одним из первых крупных российских объектов, при реконструкции которого была использована система углеволоконного усиления, стал мост преднапряженной конструкции через Клязьминское водохранилище (Дмитровское шоссе), собранный из блоков с заведением напрягаемой арматуры. Исследование состояния конструкций моста, проведенное после 20 лет эксплуатации, выявило наличие недопустимых растягивающих напряжений в верхних фибрах. По результатам экспертизы было принято решение усилить мост в этих сечениях, а также поднять весь мост для замены опорных частей.

В связи с большим сужением пучков не представлялось возможным использовать традиционный метод усиления, предусматривающий установку анкерных устройств с последующим натяжением стальных канатов, поскольку при анкерровке существует вероятность повреждения действующего пучка. В связи с этим после проведения соответствующих расчетов было принято решение применить в местах примыкания верха опор к пролетному строению углеволоконное усиление. Тем более что безотказный срок работы системы Sika CarboDur с запасом перекрывает межремонтный цикл мостов, длительность которого обычно не превышает 25 лет.

На этом объекте работы, связанные с применением системы Sika CarboDur, проводила фирма «АлмекСтрой» (директор компании Sika), сотрудники которой прошли обучение по применению углеволоконного усиления. «АлмекСтрой» имеет сертификат на производство полного цикла работ по усилению углеволоконными лентами, включая расчеты.

Работы по усилению конструкций моста через Клязьминское водохранилище проводились при участии технического специалиста компании Sika Виктора Венеца (Victor Venetz), который контролировал качество работ на этом сложном объекте.



ООО «Зика» (Россия)
103006, Москва,
ул. Малая Дмитровка, д. 16, стр. 6
Тел.: (095) 771-7488
Факс: (095) 771-7480
e-mail: sika-trocral@sika-trocral.ru
sika-russia@sika-russia.ru

Таблица 1 Механические характеристики ламелей Sika CarboDur

	Sika CarboDur S	Sika CarboDur M	Sika CarboDur H
Модуль упругости (сред. значение), МПа	>165'000	>210'000	>300'000
Модуль упругости (минимум), МПа	>160'000	>200'000	>290'000
Предел прочности при растяжении, МПа	>2'800	>2'800	>1'350
Удлинение при разрушении (min)	1,7%	1,35%	0,45%

Примечание. Значения, приведенные в таблице, получены при растяжении вдоль волокон.

Таблица 2 Механические характеристики клея Sikadur-30

Время работы с материалом при 35°C (по F.I.P.)*	30 мин.
Усадка (по F.I.P.)*	0,04%
Модуль упругости	12800 МПа
Адгезия к бетону (по F.I.P.)*	Растяжение: разрушение бетона (4 МПа) Сдвиг: разрушение бетона (около 15 МПа)
Адгезия к стали (тест Sika)	33 МПа (поверхность после пескоструйной обработки)
К-т линейного расширения (от -10 до +40°C)	9x10-5 0С-1

*F.I.P. — Federation Internationale de la Precontrainte

монтируется только клеевым способом. Затвердевший клей можно удалить только механическим путем, поэтому сразу после использования (до застывания клея) инструменты и оборудование необходимо промыть очистителем Colma Cleaner.

Технология устройства усиления с применением системы Sika CarboDur предусматривает возможность нанесения защитных огнестойких покрытий, а также покрытий, исключающих негативное воздействие солнечного света.

В качестве дополнения к системе Sika

CarboDur для усиления криволинейных поверхностей с небольшим радиусом изгиба, углов, а также для обертывания (колонны, опоры и т.д.) компания Sika разработала две дополнительные системы материалов: углеродную ткань Sika Wrap и систему Г-образных углеродных пластин Sika CarboShear. При монтаже Sika CarboShear в качестве адгезионного слоя используют уже упоминавшийся клей Sikadur-30, а для системы Sika Wrap — клей Sikadur-330 (эпоксидный клей со средней вязкостью) либо Sikadur-300 (эпоксидный клей с низкой вязкостью).

Для сокращения продолжительности технологического цикла возможно применение специального устройства Sika CarboDur Heating device, позволяющего интенсифицировать процесс полимеризации эпоксидного клея путем нагревания свежеприклеенных ламелей. При этом клей набирает необходимую прочность уже через 3–4 часа.

Приведем несколько примеров из проведенных экспериментов, подтверждающих стабильность характеристик системы Sika CarboDur.

В 1970 году в Дюбендорфе (Швейцария) в лаборатории Sika была упрочнена железобетонная балка при помощи материала Sika CarboDur. Этот объект находится под постоянным контролем и, как показывают исследования, за 34 года клей потерял менее 20% прочности. Углеволоконные ламели впервые были применены в 1991 году и до настоящего времени успешно