

К вопросу анкеровки внешнего композитного армирования при усилении железобетонных конструкций

П.П. Польской, А.Г. Умаров, А.Ю. Кубасов, Р.Г. Умаров

Донской государственной технической университет

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы анкеровки внешнего композитного усиления. Описываются преимущества одного из вариантов усиления – с помощью анкерных жгутов. Представлен порядок выполнения работ при усилении анкерными жгутами. Также представлена методика расчета анкеров из углеродных волокон на вырыв.

Ключевые слова: железобетон, бетон, композитные материалы, углеродное волокно, усиление, внешнее армирование, композитный анкер.

Еще 10 лет назад в России не существовало словосочетания «современные методы усиления железобетонных конструкций». И это справедливо, т.к. уже более 100 лет назад появился метод усиления железобетонных конструкций путем наращивания сечения с использованием бетона и стали, который в разных модификациях показал высокую надежность и эффективность. И только в начале 2000-х годов в России стали использовать композитные материалы в строительстве [1,2].

Однако применение композитных материалов стремительно растет, благодаря их уникальным свойствам, таким, как высокая прочность на растяжение и очень низкий собственный вес. Эти показатели выше в 7-10 раз по сравнению, например, с арматурой класса А400.

Распространению композитных материалов способствуют не только зарубежные исследования [3,4], но и труды отечественных ученых [5-7].

Одним из важных вопросов расширения применения композитных материалов является вопрос анкеровки. Работа элементов, усиленных внешним композитным армированием на основе углеродных волокон, при усилении нормальных и наклонных сечений, значительно зависит от анкеровки элементов усиления к усиливаемой конструкции, т.к. недостаточная анкерровка может привести к отрыву углеламината от бетона и выведению конструкции

из работы. Наиболее опасными являются места с максимальными касательными напряжениями на границе бетона и композитного материала.

Помимо адгезии существует несколько различных вариантов анкеровки элементов усиления, одним из которых является использование анкерных углеродных жгутов. Примером такого анкерного жгута является CarbonWrap® Anchor, производства ООО «НЦК».

Возможны 3 варианта установки анкерных жгутов:

1. Анкеровка с одной стороны. Жгут располагается перпендикулярно элементу усиления в отверстие и внешняя часть жгута распределяется по кругу (рис. 1А).

2. Анкеровка с двух сторон. Жгут располагается перпендикулярно элементу усиления в сквозное отверстие и внешние части жгута распределяются по кругу с двух сторон (рис. 1Б).

3. Анкеровка параллельно конструкции. Жгут располагается параллельно или под углом в отверстие, внешняя часть жгута распределяется по V-образно.

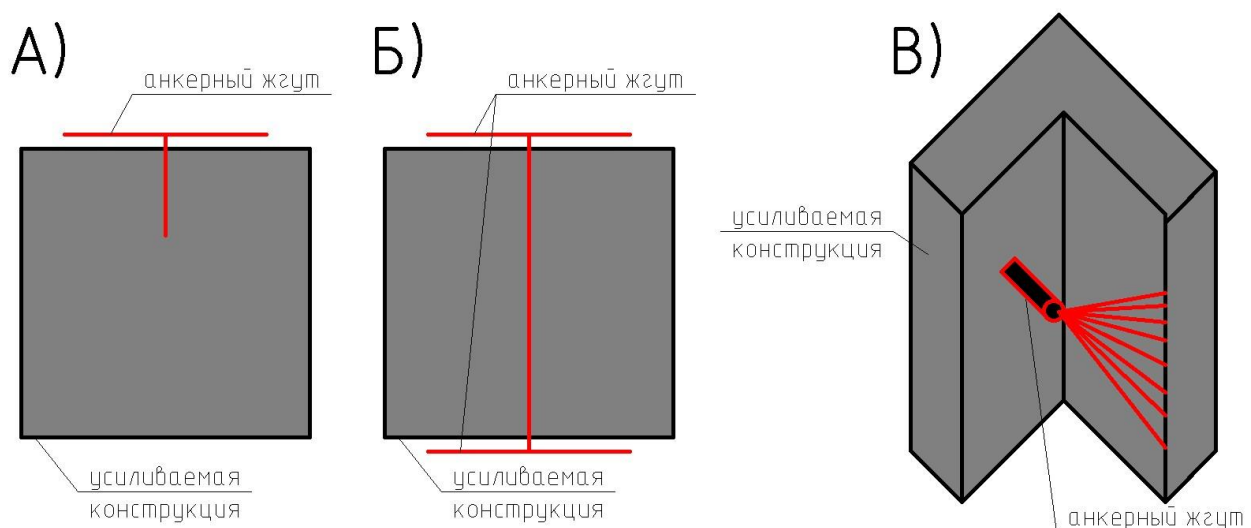


Рис. 1 – Схемы установки анкерных жгутов: А) Одиночная анкеровка, Б) Двойная анкеровка, В) Параллельная анкеровка (Авторская разработка)

Анкера данного типа имеют следующие достоинства:

- Малый вес и простота установки;
- Скорость выполнения работ;
- Высокие характеристики материала при растяжении;
- Можно использовать при усилении конструкций из разных материалов – каменные, железобетонные и т.п.
- Долговечность;
- Стойкость к коррозии;
- Обеспечивает передачу и восприятие растягивающих усилий и поперечных сил;
- Увеличивается несущая способность сопряжения конструкций стен и перекрытий.

Далее рассмотрим стадии выполнения работ по устройству анкерных жгутов.

Подготовительные работы.

Следует проверить качество бетонной поверхности и подготовить все необходимые инструменты. Нарезать ножницами анкерные жгуты необходимой длины в нужном количестве.

Подготовка поверхности.

– Перед наклеиванием системы, основание не должно иметь дефектов и посторонних включений. При их наличии, указанные дефекты должны быть устранены.

– Выполняется шлифовка поверхности, в ходе которой удаляется цементное молочко.

– Выполняется обеспыливание поверхности (щетками, воздухом или водой под давлением).

– Поверхность основания в угловых зонах, где устанавливается система внешнего армирования, также необходимо подготовить. Внешние углы обра-

батоваются и снимается фаска с радиусом закругления не менее 20 мм. На внутренних углах выполняется галтель (из ремонтных материалов с адгезией не менее 1,5 МПа к основанию) с катетом не менее 20 мм.

– Поверхность перед усилением должна быть чистой, гладкой, сухой и без повреждений.

– Для установки углеродного жгута необходимо высверлить отверстие на 3-6 мм больше, чем диаметр самого жгута и глубиной не менее 100 мм. Подготовленное отверстие необходимо очистить и обеспылить.

Выполнение работ.

Существует 3 метода установки анкерных жгутов:

- под элементы системы внешнего армирования;
- между слоями системы внешнего армирования;
- поверх финишного слоя системы внешнего армирования.

Рассмотрим последовательность действий при установке анкерных жгутов поверх или между слоями систем внешнего армирования:

1. Подготовка отверстия. Отверстие высверливается до наклейки элементов усиления, далее маркируется острым элементом для обозначения местоположения. Производится наклейка усиливающего усиления (ленты или ткани). В точке выступа маркировочного элемента раздвигаются волокна и производится удаление маркировочного элемента.

2. Готовится анкерный жгут нужной длины, смешиваются компоненты эпоксидного клея, рекомендуемого заводом изготовителем анкера.

3. Жгут условно делится пополам, производится смещение оплетки до середины образца. Осуществляется нанесение связующего до полной пропитки волокна жгута без оплетки. Оплетку возвращают в исходное положение. То же самое производят со второй половиной жгута. После пропитки можно поместить металлический стержень во всю длину жгута для дальнейшего удобства установки жгута в отверстие.

4. В отверстие и области крепления жгута наносится эпоксидный клей.
5. Подготовленный жгут аккуратно устанавливается внутрь. После установки анкера аккуратно удаляется оплетка. Для установки жгута можно использовать металлический стержень.
6. Излишки клея распределяются по поверхности, внешняя часть анкерного жгута распределяется по кругу (рисунок 2).
7. Дополнительно наносится эпоксидный клей на непропитанные зоны (при наличии).



Рис. 2 – Установленный анкерный жгут (Авторская разработка)

Расчет анкеров из углеродных волокон на вырыв

АО «НИЦ «Строительство», совместно с ООО «НЦК», были выполнены испытания [8-10], по результатам которых установлено, что большая часть образцов (порядка 80%) разрушились по материалу анкера. В оставшихся образцах произошло разрушение по бетону при малых длинах анкеровки – 3-7 диаметров анкера. В связи с этим, авторами испытаний предлагается увеличить минимально допустимую глубину анкеровки анкерных жгу-

тов до 10 диаметров, что должно исключить разрушение анкера по бетону [11].

Авторами [11] предлагается формула для определения усилия разрушения анкера на вырыв:

$$N \leq N_{an} = k_3 \cdot R_{an} \cdot A_{an} , \quad (1)$$

где R_{an} – расчетное сопротивление анкеру растяжению;

A_{an} – площадь анкерного жгута;

k_3 – выведенный авторами эмпирический коэффициент по результатам испытаний.

Расчетное значение сопротивления анкера растяжению следует определять, согласно СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования», по формуле:

$$R_f = \frac{\gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot R_{f,n}}{\gamma_f} \quad (2)$$

Где γ_f – коэффициент надежности по композитному материалу, принимаемый при расчете по предельным состояниям второй группы равным 1,0, а при расчете по первой группе – 1,2 (для углекомпозита).

γ_{f1} – коэффициент условий работы композитного материала, принимаемый по таблице 3, СП 164.1325800.2014. Для углекомпозитов во внутренних помещениях принимается равным 0,95 (для ламинатов) и 0,9 (для холстов, сеток и других тканевых материалов). На открытом воздухе и в агрессивной среде – соответственно, 0,85 для ламинатов и 0,8 для тканей.

γ_{f2} – коэффициент условий работы, учитывающий сцепление композитного материала с бетоном, определяется по формуле:

$$\gamma_{f2} = \frac{1}{2,5\varepsilon_{f,ult}} \cdot \sqrt{\frac{R_b}{nE_f t_f}} \leq 0.9 \quad (3)$$

где $\varepsilon_{f,ult}$ – значение относительных деформаций композитного материала;

n – число слоев композитного материала;

t_f - безразмерный параметр, который равняется толщине одного слоя композитного материала;

E_f – модуль упругости композитного материала, МПа;

R_b – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию, МПа.

Эмпирический коэффициент k_3 , который зависит от диаметра анкерного хомута, приведен в результатах исследования авторов [11]. Введение данного коэффициента приближает результаты теоретических расчетов по действующим нормам к экспериментальным данным, тем самым повышая рациональность проектирования и снижая риски ошибок при проектировании усиления железобетонных конструкций композитными материалами.

Литература

1. Костенко А.Н. Прочность и деформативность центрально и внецентренно сжатых кирпичных и железобетонных колонн, усиленных углеродным и стекловолокном Автореферат. дисс. канд. техн. Наук. Москва. 2010. 26с.
2. Умаров А.Г., Меретуков З.А., Умаров Р.Г. К вопросу внедрения современных материалов и технологий в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2021. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6833.
3. Arduini, M. and Nanni, A. Behavior of Precracked RC Beams Strengthened With Carbon FRP Sheets. Journal of Composites for Construction. U.S.A. Vol.1, №2, 1997, pp. 63-70.
4. Shehata I.A.E.M., Carneiro L.A.V. and Shehata L.C.D. Strength of Short Concrete Columns Confined with CFRP Sheets. Materials and Structures, Vol. 35, January-February 2002, pp. 50 - 58.
5. Польской П.П., Блягоз А.М., Умаров Р.Г., Арустамян К.А. Влияние различных факторов на прочность наклонных сечений балок, усилен-

- ных двухсторонними композитными хомутами // Инженерный вестник Дона. 2021. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7242.
6. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.М. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами // М.: ОАО «Издательство Стройиздат». 2007. 184 с.
 7. Польской П.П., Умаров А.Г., Умаров Р.Г. К вопросу повышения уровня эффективности внешнего композитного армирования при усилении железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2022. №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7906.
 8. Симаков О.А., Зенин С.А., Кудинов О.В., Осипов П.В. Исследование работы на вырыв анкеров на основе углеродных волокон при устройстве систем внешнего армирования // Промышленное и гражданское строительство. 2019. №3. С. 48-53.
 9. Симаков О.А., Зенин С.А., Кудинов О.В. Работа на срез анкеров на основе углеродных волокон при внешнем армировании // Промышленное и гражданское строительство. 2019. №9. С. 59-64.
 10. Kim S. J., Jirsa J. O., Bayrak O. Use of carbon fiberreinforced polymer achors to repair and strengthen lap splices of reinforced concrete columns. *ACI Structural Journal*, 2011, no. 108(5), pp. 630–640.
 11. Симаков О.А., Зенин С.А., Кудинов О.В., Осипов П.В. Расчет анкеров на основе углеродных волокон на вырыв и срез при устройстве систем внешнего армирования // Промышленное и гражданское строительство. 2020. №4. С. 12-16.

References

1. Kostenko A.N. Prochnost' i deformativnost' central'no i vnecentrenno szhatyh kirpichnyh i zhelezobetonnyh kolonn, usilennyh ugle i steklovoloknom [Strength and deformability of centrally and eccentrically

- compressed brick and reinforced concrete columns reinforced with carbon and fiberglass] Avtoreferat. diss. kand. tehn. Nauk, Moskva, 2010. 26 p.
2. Umarov A.G., Meretukov Z.A., Umarov R.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6833.
 3. Arduini, M. and Nanni, A. Journal of Composites for Construction. U.S.A. Vol.1, № 2, 1997, pp. 63-70.
 4. Shehata I.A.E.M., Carneiro L.A.V. and Shehata L.C.D. Materials and Structures, Vol. 35, January-February 2002, pp. 50 - 58.
 5. Polskoy P.P., Blagoz A.M., Umarov R.G., Arustamyan K.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7242.
 6. Shilin A.A., Pshenichnyj V.A., Kartuzov D.M. M.: OAO «Izdatel'stvo Strojizdat». 2007. 184p.
 7. Polskoy P.P., Umarov A.G., Meretukov Z.A., Umarov R.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7906.
 8. Simakov Î. À., Zenin S. A., Kudinov O. V., Osipov P. V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2019, no. 3, pp. 48–53. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.03.29-34.
 9. Simakov Î. À., Zenin S. A., Kudinov O. V., Osipov P. V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2019, no. 9, pp. 59-64. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.09.59-64.
 10. Kim S. J., Jirsa J. O., Bayrak O. ACI Structural Journal, 2011, no. 108(5), pp. 630–640.
 11. Simakov O. A., Zenin S. A., Kudinov O. V., Osipov P. V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2020, no. 4, pp. 12–16.