

УДК 691.175

КОМПОЗИТНАЯ АРМАТУРА: «ЗА» И «ПРОТИВ»

В.В. Габрусенко

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин), ул. Ленинградская, 113, г. Новосибирск, 630008, Россия

Аннотация. В статье описаны физико-механические свойства композитной арматуры, их отличия от свойств стальной арматуры, проанализированы их достоинства и недостатки, рассмотрена область применения бетонных конструкций с такой арматурой и направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: композитная арматура, достоинства, недостатки, область применения, исследования.

COMPOSITE REINFORCEMENT: «PROS» AND «CONS»

V.V Gabrusenko

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,
St. Leningradskay, 113, Novosibirsk, 630008, Russia

Abstrakt. This article details the physical and mechanical properties of composite reinforcement and their differences to properties of steel reinforcement, analyses the advantages and disadvantages of composite reinforcement, and reviews the applications of concrete constructions with this reinforcement, as well as future research directions in this field.

Key words: composite reinforcement, advantages, disadvantages, scope of application, research

В последние годы полимеркомпозитная арматура (сокращенно АКП) вызывает большой интерес в строительном сообществе [1]. Образовалась Ассоциация неметаллической композитной арматуры со штаб-квартирой в НИИЖБе, разработаны ГОСТ 31398-2022 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия», СТО НОСТРОЙ 2.6.90-2013 «Применение в строительных бетонных и геотехнических конструкциях неметаллической композитной арматуры», Свод правил СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования».

Композитная арматура обладает уникальными физико-химическими свойствами – радиопрозрачностью, немагнитностью, электрической непроводимостью и высокой коррозионной стойкостью при вчетверо меньшем удельном весе, чем стальная арматура [2 - 4]. К тому же, ее прочность (временное сопротивление при растяжении) сопоставима с прочностью стальной арматуры самых высоких классов – от A1000 до Bp1400.

На целом ряде предприятий страны освоено массовое производство наиболее дешевых видов такой арматуры – стеклокомпозитной и базальтокомпозитной. В печати, на «круглых столах» и в рекламе все чаще появляются утверждения типа: «Можно спокойно заменять стальную арматуру, например, диаметром 12 мм композитной диаметром 8 мм» или «Прочность стеклопластиковой арматуры в 2 – 2,5 раза выше стальной. Стеклопластик легче стали в 4 раза, а при равнопрочной замене в 8 – 10 раз», или – «Экономия металла до 58 %, прочнее стали в 3 раза, легче металла в 8 раз, срок службы более 80 лет» и т. п.

Чтобы определить, насколько правдива эта реклама, рассмотрим основные физико-механические отличия композитной арматуры от стальной. Это:

- радиопрозрачность,
- диэлектрические свойства,
- высокая коррозионная стойкость (исключая воздействие щелочной среды),
- низкий удельный вес ($1,96 - 2,1 \text{ г/см}^3$),
- отсутствие пластических деформаций,
- высокое временное сопротивление при разрыве (табл. 1),
- низкий модуль упругости (табл. 1),
- малое удлинение при разрыве (табл. 1),
- безвозвратное снижение прочности при $t > 90^\circ\text{C}$ (временное при $t > 60^\circ\text{C}$),
- то же, при действии УФ-лучей,
- несвариваемость [2, 3].

Таблица 1

Физико-механические характеристики						
Показатели арматуры						
Полимеркомпозитной (АКП)						Стальной А500С
Наименование	АСК	АБК	АУК	ААК	АКК	
Предел прочности при растяжении $R_{f,n}$, МПа	1000	1000	1400	1400	1000	$R_{s,n} = 500$
Модуль упругости при растяжении E_f , ГПа	50	50	130	70	60	$E_s = 200$
Относительное удлинение при разрыве δ , %	2,0	2,0	1,1	2,0	1,0	14,0

Примечание. В таблице обозначены следующие виды арматуры: АСК – стеклокомпозитная, АБК – базальтокомпозитная, АУК – углекомпозитная, ААК – арамидокомпозитная, АКК – комбинированная композитная

С учетом перечисленных свойств рассмотрим, какими особенностями обладают бетонные конструкции с полимеркомпозитной арматурой.

Отсутствие пластических деформаций и малое удлинение арматуры при разрыве приводят к хрупкому, т. е. наиболее опасному виду разрушения изгибаемых конструкций, что требует более высоких коэффициентов запасов при расчете прочности. Это обстоятельство учтено за счет существенного снижения расчетного сопротивления арматуры R_f (табл. 2).

Таблица 2

Расчетное сопротивление арматуры					
Расчетное сопротивление полимеркомпозитной арматуры растяжению R_f , МПа (при коэффициенте вариации $v \leq 0,15$)					
Условия эксплуатации	АСК	АБК	АУК	ААК	АКК
Во внутренних помещениях	530	600	750	750	530
На открытом воздухе и в грунте	470	530	650	650	470

Из табл. 2 видно, что расчетное сопротивление стекло- и базальтокомпозитной арматуры при эксплуатации на открытом воздухе и в грунте лишь на 8 %

выше расчетного сопротивления стальной арматуры класса А500, равного 435 МПа, и слова о более высокой ее прочности есть рекламный трюк на грани мошенничества. Об эксплуатации в закрытых помещениях будет сказано ниже.

Ширину раскрытия нормальных трещин a_{crc} в конструкциях с композитной и стальной арматурой определяют по одной и той же формуле

$$a_{crc} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi(\sigma/E) l_y. \quad (1)$$

Однако из-за низкого модуля упругости E_f и худшего сцепления с бетоном (учитываемого коэффициентом φ_2) величина a_{crc} при прочих равных условиях у конструкций с композитной арматурой по расчету будет в n раз больше, чем в конструкциях со стальной (даже без учета большего расстояния между трещинами l_y). Для стекло- и базальтокомпозитной арматуры $n = (E_s/E_f)(\varphi_{2f}/\varphi_{2s}) = (200/50)(0,7/0,5) = 5,6$ [5].

Иначе говоря, для обеспечения равной ширины раскрытия трещин по расчету требуется композитной арматуры в n раз больше, чем стальной. Это не значит, что увеличивать расход композитной арматуры в n раз следует всегда. Например, если при длительном действии нагрузки ширина раскрытия трещин конструкции со стальной арматурой составляет 0,04 мм, то с композитной – 0,23...0,25 мм, что меньше предельного значения 0,3 мм.

В сжатых элементах (колоннах) и в сжатой зоне изгибаемых элементов (балках, плитах) применять АКП в качестве продольной рабочей арматуры нельзя по двум причинам: а) ее невозможно предохранить от потери устойчивости (поперечные стержни нельзя ни приварить, ни загнуть), б) так как расчетное сопротивление арматуры сжатию R_{fc} определяется ее модулем упругости и предельной сжимаемостью бетона, предельные сжимающие напряжения в АСК и АБК в 4 раза ниже, чем в стальной, т. е. не превышают 100 МПа. Поэтому в СП 295.1325800.2017 расчетное сопротивление сжатию принято $R_{fc} = 0$.

Поскольку поперечную композитную арматуру нельзя заанкерить в бетоне ни с помощью приварки к продольной арматуре, ни загибом вокруг нее «крючками» либо «лапами», ни с помощью высаженных головок, то анкеровка поперечных стержней обеспечивается только силами сцепления с бетоном, что резко снижает несущую способность наклонных сечений в опорных участках и делает применение АКП проблематичным. Поясним далее примером (см. рис.).

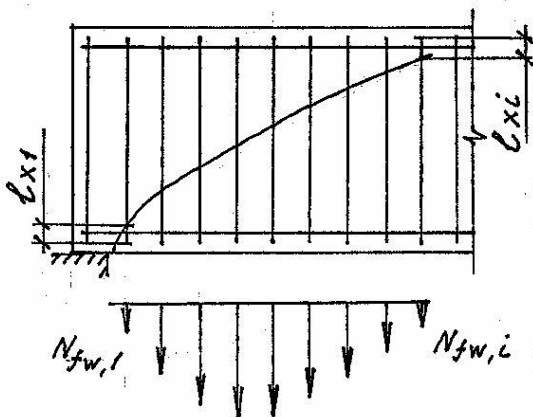


Рис. Распределение усилий в поперечных стержнях, пересекающих наклонное сечение

Усилие в арматуре при выдергивании определяется из условия:

$$N_{fw} = R_{fw} A_{fw} (l_x / l_{an}), \quad (2)$$

где $R_{fw} = 0,8R_f$ – расчетное сопротивление поперечной АКП; A_{fw} – площадь сечения стержня (или всех стержней в одном створе); l_x – фактическая длина заделки стержня в бетоне; l_{an} – расчетная длина анкеровки стержня в бетоне, необходимая для полного использования его прочности при выдергивании. Для арматуры АСК и АБК она составляет от 60 (в бетоне класса В40) до 100 (в бетоне класса В15) диаметров стержня.

Из рис. видно, что в начале и в конце наклонного сечения длина заделки поперечных стержней l_x ничтожно мала, и столь же мала их несущая способность. По мере приближения к середине наклонного сечения длина заделки растет, но достигает ли она значения l_{an} , зависит от высоты сечения самой конструкции, диаметра поперечной арматуры и класса бетона. Отсюда следует, что для определения несущей способности наклонных сечений формулами $q_{fw} = R_{fw} A_{fw} / u$, $Q_{fw} = 0,75 q_{fw} c_0$ пользоваться нельзя.

Приведенные рассуждения показывают, что композитная поперечная рабочая арматура без концевых анкеров либо без надежного соединения с продольной арматурой свою прочность использует слабо, применять ее опасно, ибо численно оценить ее несущую способность не представляется возможным.

Поскольку при температуре более 90 °С АКП начинает безвозвратно терять прочность, конструкции с этой арматурой обладают низкой огнестойкостью, что делает невозможным их применение в большинстве закрытых помещений.

Из-за невозможности сварки стыковать АКП можно только внахлестку с длиной перепуска не менее $1,6l_{an}$. По этой причине в преднапряженных конструкциях применение АКП, поставляемой не в бухтах, а в прутках, ограничено ее длиной 11,7 м, притом длина самих конструкций может составлять не более 10 – 11 м.

Композитная арматура, особенно стеклокомпозитная, подвержена коррозии при воздействии щелочной среды, что отмечено требованиями ГОСТ 31398-2022 о необходимости испытания образцов в щелочи.

Во избежание вредного воздействия ультрафиолетовых лучей хранить АКП можно только под навесом.

В заключение следует отметить невысокое качество действующих нормативных документов – СП 295.1325800.2017 и ГОСТ 31398-2022, не всегда согласующихся между собой (автором обоих документов является НИИЖБ).

Например, в СП 295.1325800.2017 расчетное сопротивление сжатию принято равным нулю, а в ГОСТ 31398-2022 – равным 300 МПа (величине, как показано выше, ничем не обоснованной).

В СП 295.1325800.2017 расчетное сопротивление АКП растяжению R_f зависит от коэффициента вариации v , полученного по результатам испытания образцов. При этом не известно, каким образом проектировщик получает сведения о величине этого коэффициента и какое значение R_f ему надо принимать в расчете. Более логичным было бы в ГОСТе указать максимально допустимое значение v , а в СП дать одно значение R_f , соответствующее этому коэффициенту.

СП 295.1325800.2017 предписывает выполнять расчет наклонных сечений с композитной арматурой по указаниям СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции», т. е. так же, как со стальной арматурой, но с использованием характеристик композитной. Между тем необходимое для расчетов наклонных сечений расчетное сопротивление композитной поперечной арматуры R_{fw} в СП 295.1325800.2017 отсутствует. Надо ли его принимать равным $0,8R_f$, как это принято в СП 63.13330.2018, пояснений нет.

Следует также отметить, что в СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии» всякое упоминание о композитной арматуре отсутствует в принципе.

Заключение:

1. Применять АКП в качестве рабочей арматуры в сжатых элементах (колоннах, сжатых стержнях ферм и др.) и в сжатой зоне изгибаемых элементов, а также в конструкциях, требующих высокой огнестойкости (в закрытых помещениях) нельзя.

2. Применять АКП в наклонных сечениях в качестве поперечной рабочей арматуры без концевых анкеров или без надежного соединения с продольной арматурой нельзя ввиду невозможности точного расчета ее несущей способности.

3. Применять АКП в качестве продольной растянутой арматуры неэффективно по условиям раскрытия трещин.

4. Применять АКП в качестве напрягаемой арматуры можно с ограничениями: при поставке ее в прутках, длина конструкций не должна превышать 10 – 11 м.

5. Бетонные конструкции с композитной арматурой (по текущему состоянию нормативных документов) имеют небольшую область применения, а именно:

- в зданиях и сооружениях, где требуются радиопрозрачность, немагнитность и диэлектрические свойства, где стальную арматуру нельзя применять в принципе и где о цене вопрос не стоит (при этом соединения композитных стержней стальной вязальной проволокой исключаются);

- в элементах, которые чрезвычайно быстро выходят из строя из-за коррозии стальной арматуры и в которых использование композитной арматуры экономически оправданно даже с учетом всех ее недостатков;

- в элементах, не требующих рабочей (по расчету) сжатой и поперечной арматуры, не требующих непроницаемости и эксплуатируемых при отсутствии агрессивной щелочной среды;

- в элементах зданий и сооружений с низкими требованиями к огнестойкости, т. е. эксплуатируемым не в закрытых помещениях, а в грунте или на открытом воздухе (фундаменты, дорожные и аэродромные плиты и т. п., не требующих рабочей поперечной арматуры) при соблюдении ограничений по ширине раскрытия нормальных трещин;

- в предварительно напряженных элементах, не требующих рабочей поперечной арматуры.

6. Для расширения области применения бетонных конструкций с композитной арматурой необходимо

- провести исследования изгибаемых и растянутых элементов с целью определения возможности увеличения предельной ширины раскрытия трещин по сравнению с той, что принята для стальной арматуры (с учетом более высокой коррозионной стойкости композитной арматуры). При получении положительных результатов они должны быть внесены в СП 295.1325800 и в СП 28.13330;
- разработать доступную технологию и соответствующее оборудование для надежного соединения пересекающихся стержней (имеющиеся технологии ненадежны и дороги);
- разработать конструкцию надежных и недорогих захватных устройств для натяжения напрягаемой арматуры;
- исследовать работу концевых участков преднапряженных элементов (в зоне передаче напряжений), в т. ч. при длительной и многократно повторяющейся нагрузке;
- исследовать вопросы старения композитной арматуры для определения ее реальной долговечности;
- довести нормативные документы до должного уровня качества.

Библиографический список

1. Мирсаяпов Илшат Т., Лим В.А., Марсаяпов А.И., Сулейманов А.М. Оценка эффективности применения высокомодульной полимерной композитной арматуры//Известия КГАСУ, 2023, № 3(65). С. 145 – 153. DOI: 10.52409/20731523_2023_3_145.
2. Низина Т.А., Леонтьев Н.С. Композитная полимерная арматура: анализ опыта производства//Умные композиты в строительстве. 2025. Т6., вып. 1. С. 31 – 45. [Электронный ресурс] URL: comincon.ru/ru/nauka/issue/5863/view. DOI: 10/5295782782-1919-2025-6-1-31-45
3. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П. Арматура композитная полимерная. М.: Бумажник, 2013. 200 с.
4. Гиль А.И., Бадалова Е.Н., Лазовский Е.Д. Стеклопластиковая и углепластиковая арматура в строительстве: преимущества, недостатки, перспективы применения// Вестник Полоцкого государственного университета, 2015, Серия F, № 16. С. 48 – 53.
5. Мирсаяпов Илшат Т., Антаков И.А., Антаков А.Б. К расчету ширины раскрытия трещин изгибаемых бетонных элементов, армированных композитной полимерной арматурой//Вестник МГСУ. 2020. Т.15. Вып. 12. С. 1663 – 1672. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.12.1663-1672.

Опубликовано в журнале «Эксперт: теория и практика», 2025, №4, с. 136

<file:///E:/Научная/МОИ%20СТАТЬИ/Статьи%20в%20разных%20изданиях/2025.№4,%20журн.ЭТиП-Комп.%20арм.,%20с.136.pdf>