

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

**Перспективы применения композитной арматуры  
Prospects of FRP Bars application**

**О.Н. Лешкевич, канд. техн. наук, заместитель директора  
по научной работе РУП «Институт БелНИИС»**

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена проблемам внедрения в практику строительства неметаллической композитной арматуры. Рассмотрены недостатки и преимущества композитной арматуры в сравнении со стальной. Даны предложения по мероприятиям, обеспечивающим массовое внедрение композитной арматуры.

ABSTRACT

The paper shows the problems of practical use of FRP Bars in the construction. Strong and weak points of FRP Bars in comparison with steel Bars are described. Some requests for the mass implementation of FRP Bars are made.

Совершенствование свойств стальной арматуры достигло того уровня, развитие выше которого нецелесообразно по причине либо отсутствия необходимости в этом, либо теоретической возможности. Ее механические и технологические свойства, принимаемые по действующими стандартами, достаточны для решения подавляющего большинства задач при минимально возможной себестоимости ее применения в железобетоне. Однако существует узкий перечень задач, в которых экономически обоснованной альтернативой является композитная арматура, являющаяся диэлектриком, обладающая высокой химической стойкостью и радиопрозрачностью.

Основой композитной арматуры как изделия является материал, который формируют из композитного волокна (базальтового, стеклянного, арамидного, углеродного) и связующего – термореактивной синтетической смолы (пластика). В виду высокой стоимости арматуры из углеродного и арамидного волокна распространения не получили, далее в настоящей статье речь пойдет об арматуре из базальтового и стеклянного волокна (ровинга).

Композитная арматура в сравнении со стальной обладает рядом существенных недостатков:

- низкий модуль упругости;
- низкая огнестойкость изделий армированных композитной арматурой;
- невозможность изготовления гнутых арматурных изделий из арматуры в состоянии поставки;
- невозможность использования в качестве сжатой арматуры;
- значительно более высокая стоимость.

Несмотря на традиционно бытующее на протяжении предыдущих десятилетий мнение о наибольшей целесообразности применения композитной арматуры в конструкциях с предварительным напряжением, до настоящего реализованы лишь единичные подобные примеры и, как правило, в качестве экспериментальных образцов. Фактически практика показала, что это было неверное позиционирование по области применения, которое сдержало массовое внедрение. В результате строительная наука многие годы не занималась исследованиями в наиболее актуальном направлении применения. Получившая же широкое распространение стальная канатная арматура в оболочке, применяемая в первую очередь для выполнения постнапряженных конструкций, имеет лучшие

технико-экономические показатели, при этом весьма хорошо себя зарекомендовала в общемировой практике строительства объектов различного назначения. Наличие оболочки обеспечивает необходимую степень защиты стали от коррозии. Таким образом применение композитной арматуры в качестве напрягаемой, в том числе по причине ее неконкурентоспособности может носить исключительно единичный характер.

Помимо технических препятствий для широкого применения композитной арматуры существуют значительные организационные трудности:

- не существует единых требований на уровне государственных или международных стандартов к механическим свойствам, методам контроля и правилам приемки арматуры;
- в виду принципиального отличия диаграммы деформирования композитной арматуры от стальной не существует понимания по назначению расчетных характеристик. Как правило, расчетные характеристики либо не известны вовсе, либо указываются производителем на основании индивидуальных соображений;
- отсутствует четкая терминология и классификация, отсутствует дифференциация на напрягаемую и ненапрягаемую арматуру, с соответствующими требованиями к ней;
- не стандартизированы методики расчета композитобетонных конструкций;
- не стандартизированы методики расчета минимального процента армирования;
- недостаточно изучен опыт эксплуатации изделий с данной арматурой;
- во многих случаях неверное позиционирование по области применения;
- отсутствуют нормативные требования по ширине раскрытия трещин в конструкциях с композитной арматурой;
- не используется единая методика для контроля механических свойств композитной арматуры;
- не нормированы требования и никак не контролируется характеристики сцепления композитной арматуры с бетоном.

Наибольшим препятствием в применении композитной арматуры является полное отсутствие какой-либо нормативной базы. Единственным упоминанием в действующих ТНПА являются пп. 6.10 и 8.13 ГОСТ 31384-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии»:

- «п. 6.10 В среднеагрессивных и сильноагрессивных средах для армирования конструкций без предварительного напряжения рекомендуется применять неметаллическую композиционную арматуру, за исключением изгибаемых элементов»;
- «п. 8.13 В конструкциях, подвергающихся электрокоррозии, допускается заменять стальную арматуру на неметаллическую (базальтопластиковую, стеклопластиковую и др.) при соответствующем обосновании».

Необходимо отметить, что СТБ 1103 «Арматура стеклопластиковая. Технические условия» несмотря на название, распространяется на гибкие связи для трехслойных стен. Отсутствие необходимой нормативной базы влечет за собой отсутствие классификации арматуры по необходимым признакам. Без единой классификации невозможно ввести общие правила обозначения, требования к свойствам, правилам приемки и методам контроля, что не позволяет проектировать композитобетонные конструкции без привязки к особенностям конкретного производителя арматуры.

В пять раз более низкий модуль упругости в сравнении со стальной арматурой приводит к снижению предельной нагрузки изгибаемого элемента без предварительного напряжения не только по второй группе предельных состояний, но и по первой. Высокая деформативность композитной рабочей арматуры фактически не позволяет производить большинство конструкций, которые привычно выполняются в железобетоне. Если учесть, что в качестве сжатой композитную арматуру использовать невозможно, то расчет и конструирование композитобетонных конструкций не может выполняться по методикам, справедливым в отношении железобетона. Уравнения равновесия действительные в отношении сечений со стальной арматурой совершенно не работают в отношении сечений с арматурой, имеющей значительно более низкий модуль упругости [1]. При большем удлинении растянутой зоны изгибаемого элемента высота сжатой зоны уменьшается, при этом форма эпюры напряжений меняется образом, приводящим к уменьшению прочности элемента по сечению.

Расчет сечения, нормального к продольной оси, композитобетонной конструкции выполняют по формулам, выбираемым в зависимости от величины фактического процен-

та армирования  $\rho_f$  и его отношения к значению т.н. «сбалансированного» процента армирования:

$$\rho_{fb} = 0.85\beta_1 \frac{f_c}{f_{fu}} \frac{E_f \varepsilon_{cu}}{E_f \varepsilon_{cu} + f_{fu}},$$

где  $E_f$  – модуль упругости композитной арматуры;

$\beta_1$  – коэффициент полноты эпюры в сжатой зоне;

$f_{fu}$  – расчетное сопротивление композитной арматуры.

В зависимости от соотношения  $\rho_f$  и  $\rho_{fb}$  принято три возможных механизма разрушения изгибаемого композитобетонного элемента:

- при достижении предельных деформаций в сжатом бетоне;
- при одновременном достижении деформации в сжатом бетоне и растянутой арматуре;
- при достижении предельных деформаций в растянутой арматуре.

Для трех перечисленных расчетных ситуаций приняты принципиально различные уравнения равновесия и выражения для определения напряжений в бетоне и арматуре, которые при этом справедливы только в области величины процента армирования выше минимального. В следствие низкого модуля упругости композитной арматуры при проценте армирования ниже определенного уровня и при незначительных напряжениях в арматуре композитобетонная изгибаемая конструкция может разрушиться по бетону. Такой характер разрушения невозможен в случае сечения со стальной арматурой. По этой причине высокие прочностные показатели композитной арматуры в подавляющем большинстве случаев остаются нереализованными. Учитывая данное обстоятельство, на стадии расчета обязательным является контроль минимального процента армирования индивидуально для каждого расчетного случая, т.к. в случае с композитной арматурой его величина не может иметь фиксированного значения, которая, к примеру, в американских нормах [1] является функцией расчетного сопротивления арматуры и геометрических параметров сечения. Таким образом ошибки в оценки минимального процента армирования композитобетонной конструкции могут привести к разрушению сжатой зоны изгибаемого элемента на стадии образования трещин при нагрузках менее проектных.

Распространенное мнение об отсутствии необходимости контроля ширины раскрытия трещин в конструкциях армированных композитной арматурой входит в противоречия с существующими по данному направлению национальными нормами. К примеру, в соответствии с японскими нормами допускаемая ширина раскрытия трещин – 0,5 мм. Канадские нормы: 0,5 мм для конструкций, эксплуатируемых на открытом воздухе и 0.7 мм для конструкций внутри помещений. В соответствии с американским стандартом ACI 318 требования по ширине раскрытия трещин, как со стальной арматурой, так и композитной – идентичны. Однако расчет ширины раскрытия трещин для изгибаемых композитобетонных конструкций выполняют по иному соотношению:

$$w = \frac{2.2}{E_f} \beta k_b f_f \sqrt[3]{hA},$$

где  $E_f$  – модуль упругости арматуры, в МПа;

$\beta$  – относительная высота сжатой зоны бетона, безразмерна.

$k_b$  – коэффициент, характеризующий силу сцепления арматуры с бетоном, безразмерный;

$f_f$  – напряжение в арматуре, в МПа;

$h$  – высота сечения, в мм;

$A$  – удвоенная площадь сжатой зоны сечения, приходящейся на один стержень растянутой рабочей арматуры, в мм<sup>2</sup>.

Вычисление напряжений в арматуре и высоты сжатой зоны сечения производится по принципиально иным выражениям относительно принятых в действующих ТНПА для расчета железобетонных конструкций. Коэффициент  $k_b$  принимают от 0,71 до 1,83 в зависимости от уровня сцепления арматуры с бетоном. Для арматуры, производимой в сопредельных с Республикой Беларусь странах, значение данного коэффициента не известно, поскольку соответствующих экспериментальных исследований выполнено не было.

Серьезной технологической проблемой является невозможность выполнения гнутых арматурных изделий из композитной арматуры в состоянии поставки. Без гнутых изделий (хомутов, гнутых стержней, шпилек и т.д.) сконструировать армирование конструкции невозможно. Фактически производитель работ должен комплектовать объект арматурными изделиями исключительно по договоренности с производителем самой арматуры, что потенциально несет в себе значительные организационные сложности.

Весьма существенным недостатком композитобетонных конструкций в сравнении с аналогичными железобетонными является их меньшая огнестойкость. Огнестойкость изделий в значительной степени зависит от конструкции ее армирования и величины защитного слоя. Экспериментальные данные свидетельствуют, что минимальное значение предела огнестойкости составляет 13 минут для изгибаемых конструкций, при этом разрушение является хрупким [2]. При интенсивном разогреве рабочей арматуры до 100°C происходит активное выделение пара из смежных со стержнем микротрещин бетона. При этом мгновенно повышается давление на поверхности арматуры, что приводит к разрушению волокна. Логично предположить, что предел огнестойкости может значительно отличаться для различных производителей арматуры, а также зависеть от материала ролинга, однако, очевидно, что композитную арматуру нельзя применять без специальных конструктивных мероприятий либо дополнительной огнезащиты несущих конструкций, к которым предъявляются требования по огнестойкости.

#### Заключение

В железобетонных изделиях повсеместно заменить стальную арматуру на композитную – невозможно. Из-за существующего соотношения цен со стальной арматурой применение композитной целесообразно и эффективно только в случае необходимости использования ее свойств, которыми стальная арматура не обладает. В первую очередь речь идет химической стойкости, радиопрозрачности и диэлектрических свойствах.

Для расширения области широкого применения композитной арматуры в строительстве необходимо выполнить следующие мероприятия:

- разработать стандарты, регламентирующие требования к качеству арматуры, ее механическим свойствам и методам контроля;
- разработать строительные нормы, регламентирующие правила расчета и конструирования композитобетонных конструкций и устанавливающие требования к контролируемым параметрам в предельных состояниях;
- подготовить предложения по оценке характеристик периодического профиля арматуры;
- разработать типовые решения, обеспечивающие требуемый уровень огнестойкости композитобетонных конструкций;
- стандартизировать гнутые изделия, разработать правила их приемки.

До реализации данных мероприятий выполнять проектирование композитобетонных конструкций возможно только с использованием зарубежных норм проектирования и исключительно под арматуру конкретного производителя.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ACI 440.1R-06 Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. American Concrete Institute, 2006. – 44 p.
2. Фролов, Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. - М.: Стройиздат, 1980.–104с.