

*Фролов Н.В., магистрант,  
Обернихин Д.В., аспирант,  
Никулин А.И., канд. техн. наук, доц.,  
Лапшин Р.Ю., студент*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ НА ОСНОВЕ СТЕКЛЯННЫХ И БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН

frolov\_pgs@mail.ru

*Композитная арматура всё чаще используется в различных отраслях промышленности и народного хозяйства. Применение подобных композитов в строительстве требует от современного инженера глубоких знаний, касающихся выбора материалов. В связи с этим, произведен сравнительный анализ композитной арматуры на основе стеклянных и базальтовых волокон. Выполнен мониторинг стоимости композитной арматуры ведущих отечественных заводов-производителей. Определены основные деформационно-прочностные характеристики базальтопластиковой и стеклопластиковой арматуры по результатам многочисленных испытаний стержней на растяжение. Приведена более работоспособная и экономичная конструкция анкерной муфты в сопоставлении с рекомендациями ГОСТ 31938-2012. Сделан вывод о том, что базальтопластиковая арматура по многим критериям незначительно превосходит стеклопластиковую, а также сильно уступает в стоимости, поэтому на данном этапе исследования предпочтение отдается арматуре из стекловолокна.*

**Ключевые слова:** *композитная арматура, волокно, стеклопластик, базальтопластик, прочность.*

**Введение.** Рынок строительных материалов в настоящее время насыщен продукцией самого разного вида и назначения. Нестандартный подход к решению поставленных задач совместно с использованием инновационных продуктов и технологий в изготовлении строительных конструкций позволяют уйти от зачастую неэффективного консерватизма в строительной отрасли. Результатом технологического прогресса при сотрудничестве промышленного и научного сообщества является композитная арматура. Хотя, создание и начало исследований такого рода неметаллической арматуры относят еще к 60-м годам прошлого века [1, 2], композитная арматура это новый материал, масштабное производство и внедрение которого начинает осуществляться только сейчас.

Композитная арматура представляет собой строительный материал, состоящий из волокнистых нитей, соединенных в пучок полимерным связующим [1 и др.]. В роли связующего элемента обычно выступают термореактивные синтетические смолы, выбор которых зависит от предъявляемых требований к арматуре. Так использование полиэфирных смол позволяет свести к минимуму электропроводность, а применение эпоксиэфенольных смол повысить уровень стойкости к воздействию агрессивных сред. В качестве материала волокна может быть задействован стеклянный, базальтовый, арамидный и углеродный ровинг, который определяет название производимой арматуры. Также имеет место гибридный вариант, например, когда стержень

выполнен из стекловолокна, а его периодическая намотка из базальта и т.п.

В большинстве случаев профиль стержней композитной арматуры имеет периодическое рифление. Стержни с круглой гладкой поверхностью ввиду низкого сцепления с бетоном использовать для рабочего армирования не рекомендуется. Для лучшей адгезии с бетоном они при изготовлении дополнительно посыпаются мелким или пылеватым песком.

Композитная арматура выступает аналогом металлической, позволяющим расширить сферу применения бетонных конструкций. Поэтому, качественный анализ ее свойств в зависимости от вида волокна, принятого при изготовлении, будет иметь актуальный характер. Стеклопластиковый (АСП) и базальтопластиковый (АБП) типы композитной арматуры получили наибольшее распространение в строительной практике, вследствие чего дальнейшая речь пойдет именно о них.

**Методология.** Большинство показателей композитной арматуры (стойкость к коррозии и высоким температурам, проводимость тепла и электрического тока и т.д.) получены при анализе накопившегося научного материала по данной тематике. Стоимость погонного метра стержней композитной арматуры принята на основе мониторинга цен ведущих отечественных заводов-производителей данной продукции. Определение деформационно-прочностных характеристик арматурных стержней производилось при помощи испытательной разрывной

машины WEW-600D и экстензометра YU-10/50.

**Основная часть.** Основные принципы применения композитной арматуры в бетонных конструкциях аналогичны принципам конструирования железобетонных элементов [4]. Поэтому, в сравнительный анализ стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры заложены свойства, которые позволят им выступать альтернативой металлическому армированию, либо совместно работать с ним.

Одним из главных критериев выбора типа композитной арматуры выступает стоимость погонного метра конечной продукции. Мониторинг цен на композитную арматуру показал, что стоимость арматуры АБП выше, чем АСП на 50-60%. Это объясняется стоимостью исходного сырья (волокон), потому как технологические процессы при изготовлении материалов очень схожи.

Основным недостатком как стеклопластиковой, так и базальтопластиковой арматуры, является малая термостойкость (по сравнению с металлом). Волокна, лежащие в основе этих композитных материалов, весьма жаропрочны, однако связующий пластиковый компонент не выдерживает воздействия высоких температур. Огнестойкость АБП составляет порядка 300 °С, АСП – 150 °С. Отсюда, у бетонных конструкций, армированных такими стержнями, невысокая устойчивость к воздействию пожаров.

Способность арматуры АСП проводить электрический ток не наблюдается, поэтому ее можно считать диэлектриком. Арматура АБП при классическом изготовлении также диэлектрик, но при необходимости ей можно придать электропроводные свойства, которые устанавливаются в широком диапазоне.

Главным преимуществом базальта перед стеклянными волокнами является низкое (на порядок меньше, чем у стекла) водопоглощение и крайне медленные процессы коррозии волокна под воздействием агрессивной среды. Механизм деградации стекловолокна сложен, основным разрушающим фактором является миграция активных химических агентов в приповерхностном слое и через трещины поверхности стекловолокна, т.е. способность к абсорбции воды и водных растворов. Процесс резко ускоряется при циклическом смачивании – осушении и воздействии циклов замораживание – оттаивание. Упаковка стекловолокна в полимерную матрицу значительно замедляет процесс, но не останавливает.

Базальтовый ролинг состоит в основном из оксидов алюминия и кремния, которые плохо

смачиваются водой; в стекле присутствует большое количество оксидов и солей щелочных металлов, которые в свою очередь хорошо смачиваются, а также растворимы в воде. Имея иной химический состав, базальты в незначительной степени подвержены характерным типам коррозии для стекла: выщелачивание (ионный обмен) и гидролитическое растворение силикатной сети. Исходя из этого, можно сделать предположение, что бетонные конструкции с армированием АБП более коррозионностойки и долговечны.

Ввиду низкой теплопроводности стеклопластиковой (0,45 Вт/м<sup>2</sup>) и базальтопластиковой (0,55 Вт/м<sup>2</sup>) арматуры стало традиционным их использование в качестве связей многослойных конструкций [3]. Данное свойство позволяет исключить «мостики холода». Оба типа рассматриваемой арматуры радиопрозрачны и не намагничиваются.

Для определения основных деформационно-прочностных характеристик арматуры типа АСП и АБП были проведены серии испытаний стержней номинальным диаметром 6 мм на растяжение.

Контроль за напряженно-деформированным состоянием арматуры осуществлялся в автоматическом режиме при помощи специально оборудованного компьютера (рис. 1), получающего значение растягивающего усилия от пресса и величину абсолютных деформаций от экстензометра.

Актуальным вопросом при испытании композитной арматуры на растяжение стоит способ ее закрепления в захватах растягивающей машины. Во избежание проскальзывания и смятия арматуры в захватах авторами усовершенствована конструкция анкерной муфты по ГОСТ 31938-2012 (рис. 2). Для приведенного анкера с увеличением номинального диаметра стержня необходимо принимать большую длину или длину и диаметр трубы. В качестве состава холодного отверждения использовалась полиэфирная смола марки NOVOL Plus 720.

Следует отметить, что стержни приняты производства компании «Гален» ROCKBAR, поэтому полученные результаты (табл. 1.) могут несколько отличаться от подобных испытаний арматуры других производителей.

Средние значения прочности и модуля деформации при растяжении арматуры типа АБП соответственно на 7,6% и на 6,3% выше, чем у АСП, а величина относительного удлинения практически одинакова.

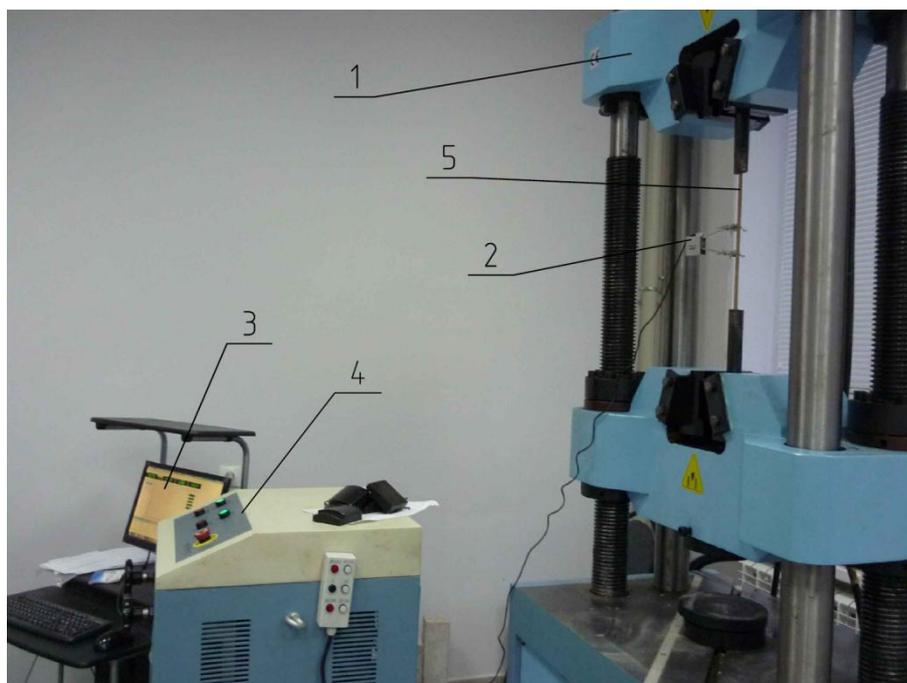


Рис. 1. Оборудование для испытания композитной арматуры на растяжение:  
1 – пресс гидравлический WEW-600D; 2 – экстензометр УУУ-10/50; 3 – считывающий компьютер;  
4 – пульт управления прессом; 5 – стержень арматуры

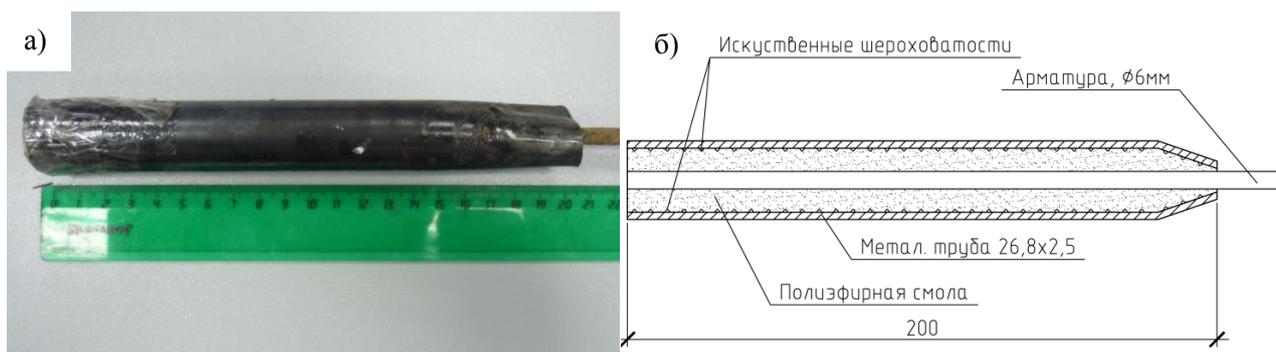


Рис. 2. Конструкция анкерной муфты для испытания композитной арматуры на растяжение:  
а – внешний вид; б – схема устройства

Таблица 1

**Средние значения прочностных характеристик композитной арматуры**

Тип арматуры	Прочность при разрыве, МПа	Модуль деформации при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %
Стеклопластиковая арматура ROCKBAR, $\varnothing 6\text{мм}$	1166,4	48306	2,41
Базальтопластиковая арматура ROCKBAR, $\varnothing 6\text{мм}$	1254,6	51359	2,43

При описанном испытании разброс значений прочности составляет до 7% у АСП и до 25% у АБП. Это позволяет говорить о том, что контроль качества изготовления стеклопластиковой арматуры поддается лучше, следовательно, при определении расчетных характеристик для данного типа арматуры могут быть использованы меньшие коэффициенты надежности.

Разрушение всех стержней хрупкое, с разрывом поперек волокон и с их продольным расслоением в пределах рабочей зоны (рис.3), что совсем не свойственно характеру разрушения металлической арматуры.

Зависимость «напряжения-деформации» у обоих типов принятой арматуры вплоть до разрыва имеет выраженный пропорциональный (линейный) вид.

**Выводы.** Главным весомым преимуществом арматуры типа АБП перед арматурой АСП является более высокая коррозионная стойкость. По многим другим критериям оценки базальтопластиковая арматура незначительно превосходит стеклопластиковую, а также по главному показателю – стоимости сильно уступает. Поэтому, с экономической точки зрения альтернативное (металлическому) армирова-

ниестеклопластиком будет более эффективным. На данном этапе работы авторы отдают предпочтение композитной арматуре типа АСП, для

которой будут проводиться исследования совместной работы с тяжелыми бетонами и металлическим армированием.



Рис. 3. Характер разрушения композитной арматуры

Усовершенствованная конструкция анкерной муфты по ГОСТ 31938-2012 позволяет только исключить смятие и проскальзывание стержней композитной арматуры в захватах разрывной машины, но при этом является менее затратной по расходу металла и объему состава холодного отверждения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластобетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1980. 104 с.
2. Уманский А.М., Беккер А.Т. Перспективы применения композитной арматуры // Вологодские чтения. 2012. №80. С. 23-25.
3. Степанова В. Ф., Степанов А. Ю. Неметаллическая композитная арматура для бетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 45-47.
4. Малбиев С.А., Горшков В.К., Разговоров П.Б. Полимеры в строительстве. М.: Высшая школа, 2008. 456 с.
5. Бабаев В.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В. Базальтовое волокно как компонент для микроармирования цементных композитов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 58-61.