

## Особенности испытаний и характер разрушения полимеркомпозитной арматуры

*Аспирант А.Р. Гиздатуллин;  
д.т.н., заведующий кафедрой ТСМИК В.Г. Хозин;  
аспирант А.Н. Куклин;  
заведующий лабораторией ТСМИК А.М. Хуснутдинов,  
Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

**Аннотация.** В статье приведены результаты испытаний образцов различных типов полимеркомпозитной арматуры при растяжении, установлены характер их разрушения, зависимость прочности и модуля упругости от диаметра стержней. Полученные результаты сопоставлены с расчетными значениями прочности при растяжении для стальной арматуры.

На основании полученных результатов сделаны выводы о сопоставимости расчетных значений прочности при растяжении полимеркомпозитной арматуры с высокопрочной стальной классов А-V и А-VI при значительно большем модуле упругости у последней. В результате этого Таким образом, применение полимеркомпозитной арматуры для армирования несущих изгибаемых конструкций возможно только при предварительном выборе деформаций арматуры (ее предварительном натяжении), либо ее существенном перерасходе.

Сделан вывод о том, что дальнейшее совершенствование технологии изготовления полимеркомпозитной арматуры необходимо направить на увеличение, прежде всего, модуля упругости арматуры, а не ее прочности.

**Ключевые слова:** полимеркомпозитная арматура; стеклянное волокно; базальтовое волокно; эпоксидная смола; прочность; модуль упругости при растяжении

### Введение

За последние 30 лет полимеркомпозитная арматура (ПКА) прошла путь от экспериментальных образцов до промышленно выпускаемого эффективного материала, способного заменить сталь во многих областях строительства. ПКА по структуре и свойствам относится к волокнистым высокоориентированным полимерным композиционным материалам (композитам), высокая прочность на растяжение которых обусловлена прочностью одноосно ориентированных волокон, прочно связанных в монолит полимерной матрицей. Высокая адгезия и податливость полимерной матрицы обеспечивают совместную работу матрицы и волокон и восприятие сдвигающих напряжений под растягивающей нагрузкой [1].

В качестве связующих в ПКА, как и в других конструкционных полимерных композитах, используют эпоксидные смолы (олигомеры), отверждаемые ангидридами органических кислот, поскольку именно они обеспечивают не только высокую прочность, но и теплостойкость (хотя теплостойкость (~ 150 °С) не всегда является достаточной для несущих конструкций).

В ПКА используются стеклянные, базальтовые, углеродные и органополимерные волокна (табл. 1). При общем высоком уровне прочности волокон на растяжение свойства волокнистых армирующих материалов различной химической природы принципиально отличаются друг от друга [2].

**Таблица 1. Механические свойства волокон из различных материалов**

Показатель	Углеродное волокно	Стеклянное волокно	Стальное волокно	Арамидное волокно «Кевлар»	Высокоориентированное полиэтиленовое волокно
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1700	2600	7850	1440	970
Предел прочности при растяжении, МПа	2000–5000	4200	350	3275	3000–4000
Модуль упругости, МПа	345	70–90	200	120–130	55–70

Первоначально наиболее широкое применение нашли стержни на основе стеклянного волокна [3], что было обусловлено технико-экономическими преимуществами стеклопластиков по Гиздатуллин А.Р., Хозин В.Г., Куклин А.Н., Хуснутдинов А.М. Особенности испытаний и характер разрушения полимеркомпозитной арматуры

сравнению с другими полимерными композитами. В настоящее время в России наравне со стеклопластиком производятся стержни из базальтового волокна с большей прочностью и щелочестойкостью. Углеродные волокна в армированных пластиках строительного назначения ввиду их высокой стоимости пока применяются крайне редко и в основном для внешнего усиления конструкций [4–6], хотя по прочности и модулю упругости при растяжении они превосходят стеклянные и базальтовые волокна.

ПКА изготавливают методами фильерной (пултрузия) и безфильерной протяжки (нидлтрузия, плейнтрузия). Совершенствование ПКА и технологии ее производства идет по пути видоизменения рельефа стержня, увеличения прочности и теплостойкости за счет новых связующих. На строительном рынке России в настоящее время существует более 50 производителей полимеркомпозитной арматуры (в основном стекло- и базальтопластиковой) на эпоксидном связующем различного продольного профиля, варианты которого, с одной стороны, повторяют периодический профиль стальной арматуры, с другой – при относительно простой технологии его формирования – меняются в широких пределах.

Несмотря на высокую прочность при растяжении, коррозионную стойкость, малый вес, высокие диэлектрические свойства ПКА, существует ряд факторов, значительно ограничивающих область ее применимости и не позволяющих начать массовое внедрение в строительстве [7]. К ним относятся низкие модуль упругости и теплостойкость, невозможность изготовления гнутых стержней и сварки в построечных условиях, но главное – отсутствие отечественной нормативной базы для проектирования бетонных конструкций, армированных ПКА.

### Обзор литературы

До 2013 года в нашей стране отсутствовал нормативный документ на саму полимеркомпозитную арматуру и методы ее испытаний, что приводило к существенным трудностям при ее сертификации и использовании в строительстве.

Наиболее сложным было проведение испытаний на растяжение стержней ПКА. Существовавшие методики, изложенные в нормативных документах [8, 9], не учитывали специфику стержней ПКА, у которых прочность на растяжение превышает прочность на сжатие более чем в 10 раз. В результате этого при испытании на растяжение по имеющимся нормативным документам происходило разрушение образцов ПКА в захватах либо их проскальзывание.

Между тем, согласно зарубежным исследованиям и нормативным документам [10–14], концы образцов ПКА перед испытанием необходимо замоноличивать в специальные стальные трубки – анкера, предназначенные для передачи усилий от захватов испытательной машины на образец при нагружении. При этом получаемые результаты зависят от методики испытаний: длины рабочей зоны стержня (участка между анкерами), способа обжима анкеров (губками непосредственно за трубку, либо за торец трубок) [15–16].

В настоящее время в нашей стране разработан ГОСТ 31938-2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций» [17], в котором принята методика испытаний на растяжение ПКА. Методика аналогична ACI 440.3R-04 [10] и основана на разрушении на рабочем участке образца при приложении к нему осевой растягивающей силы, без разрушения или проскальзывания стержня в зоне захватов или анкеров.

Длина рабочего участка  $L_э$  принимается не менее  $40d$  стержня, длина анкеров  $L_а$ , предназначенных для крепления образцов с захватами испытательной машины, принимается в зависимости от диаметра стержня, но не менее 300 мм.

Конструкция образца для проведения испытаний показана на рисунке 1.

Для определения модуля упругости выполняется измерение деформации до тех пор, пока нагрузка не достигнет 50% от предела прочности при растяжении. Предел прочности при растяжении определяют по формуле:

$$\sigma_b = \frac{P}{A},$$

где  $\sigma_b$  – предел прочности при растяжении, МПа;  
 $P$  – разрушающая нагрузка при растяжении, Н;  
 $A$  – площадь поперечного сечения стержня, мм<sup>2</sup>.

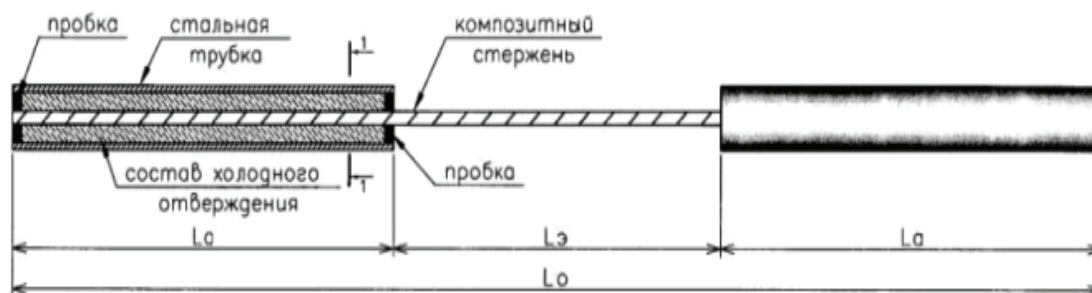


Рисунок 1. Вид типового опытного образца

### Постановка задачи

Несмотря на выход ГОСТа [17] на полимеркомпозитную арматуру и методы ее испытаний, производители зачастую используют данные старых испытаний, которые выполнялись в лабораториях, не оснащенных необходимым оборудованием, и имеют противоречивые, некорректные, а иногда и вовсе скопированные у конкурентов данные. В результатах испытаний повсеместно приводится кратковременная прочность при растяжении независимо от диаметра и типа волокна стержней. При этом отсутствует информация о назначении расчетных значений прочности при растяжении, характере поведения арматуры под нагрузкой и ее разрушении.

### Описание исследования

В 2013 году специалистами лаборатории кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Казанского государственного архитектурно-строительного университета в соответствии с методикой ГОСТа [17] выполнялись испытания на растяжение образцов четырех типов полимеркомпозитной арматуры, имеющих различную структуру и тип поверхностного профиля. Ниже приведены результаты испытаний образцов ПКА с целью определения прочности и модуля упругости при растяжении согласно [17]. Количество образцов каждого диаметра 6 шт. Параметры использованных образцов приведены в таблице 2, результаты испытаний – в таблице 3.

Таблица 2. Образцы, использованные для испытаний

№ п/п	Тип волокна стержня	Тип обмотки стержня	Диаметр стержня, мм	Фото образцов
1	2	3	4	5
1	стекловолокно	одинарное стекловолокно	3,2	
			5	
			6,9	
			9,2	
2	стекловолокно	одинарное базальтовое волокно	4,5	
			7	
3	базальтовое волокно	без обмотки (опесчанена)	2	
			4	
			6	
			8	
4	стекловолокно	одинарное стекловолокно	6	
			8	

Таблица 3. Результаты испытаний

Тип арматуры	Тип волокна стержня, тип обмотки	Диаметр образца, мм	Предел прочности при растяжении $\sigma_{\max}$ , МПа (среднее для 6 образцов)	Модуль упругости E, МПа (среднее для 6 образцов)	Характер разрушения
1	2	3	4	5	
1	Стекловолоконно, одинарное стекловолокно	3,2	1477,3	50724	Разрыв стержня по сечению в зоне сопряжения свободной зоны с анкером
		5	1197,3	49867,1	
		6,9	1189,83	51003,5	1. Отслоение оплетки от стержня на крайних участках, проскальзывание стержня в зоне анкеровки 2. Разрыв стержня по сечению
		9,2	1003,1	48682,0	
		11	966,43	48989,5	
2	Стекловолоконно, одинарное базальтовое волокно	4,5	1149,6	48 242,6	Разрыв стержня по сечению в зоне сопряжения свободной зоны с анкером
		7	1116,6	47 624,8	
		8	1090,8	50 134,8	1. Отслоение оплетки от стержня на крайних участках, проскальзывание стержня в зоне анкеровки 2. Разрыв стержня по сечению
3	Базальтовое волокно, без обмотки	2	1390	56010	Расслоение стержня по всей длине, либо разрыв стержня по сечению
		4	1268	53281	
		6	1169,5	52242,8	
		8	889,1	52 288,5	
4	Стекловолоконно, одинарное стекловолокно	6	1150,2	49 075, 2	1. Отслоение оплетки от стержня на крайних участках, проскальзывание стержня в зоне анкеровки 2. Разрыв стержня по сечению
		8	1092,1	51 878,6	

а)



б)

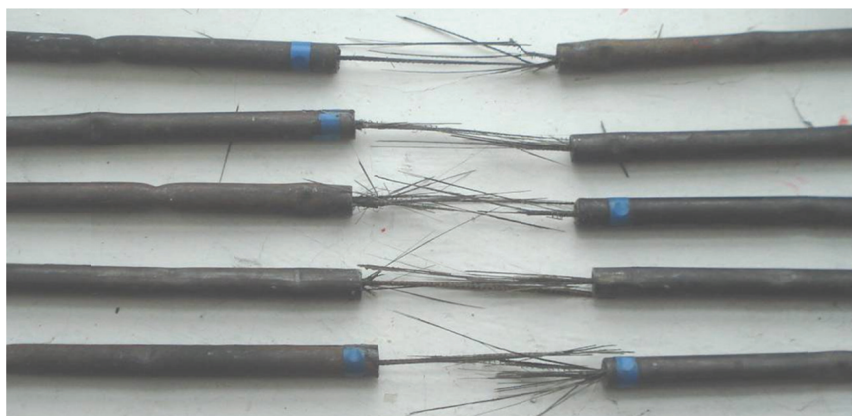


Рисунок 2. Характер разрушения образцов ПКА средних диаметров: отслоение оплетки, после чего происходит разрыв основного стержня

Гиздатуллин А.Р., Хозин В.Г., Куклин А.Н., Хуснутдинов А.М. Особенности испытаний и характер разрушения полимеркомпозитной арматуры



**Рисунок 3. Характер разрушения образцов ПКА малых диаметров: разрыв стержня происходит мгновенно в месте сопряжения стержня с анкером**



**Рисунок 4. Характер разрушения образцов ПКА из базальтового волокна без обмотки: разрыв стержня происходит путем расслоения его по всей длине**

При анализе характера разрушения образцов установлено следующее:

1. Разрушение образцов из стекловолокна малых диаметров (5 мм и менее) происходит в одну стадию, путем разрыва стержня в сопряжении свободного участка с анкером при достижении напряжением в стержне значения  $\sigma_{\max}$ .

2. Разрушение образцов из стекловолокна средних диаметров (6–11 мм) происходит в две стадии: вначале происходит отслоение обмотки тела стержня при достижении напряжением в стержне значений  $\sim 85\text{--}90\%$  от  $\sigma_{\max}$ , после чего происходит разрыв стержня по сечению.

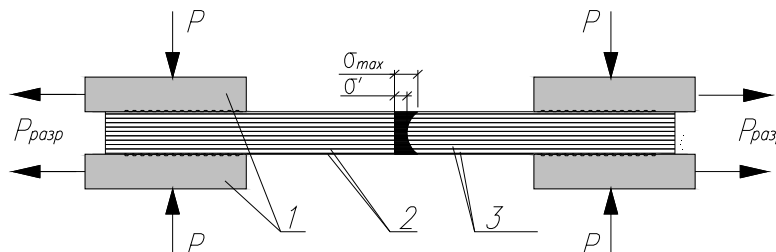
3. Разрушение образцов из базальтового волокна происходит в одну стадию путем расслоения стержня по всей длине при достижении напряжением в стержне значения  $\sigma_{\max}$ .

Для всех типов ПКА относительное удлинение прямо пропорционально растягивающей нагрузке вплоть до разрушения, в отличие от стали, у которой имеется зона упругой работы, площадка текучести, зона самоупрочнения и разрыва. Это означает, что при работе под нагрузкой у конструкций, армированных ПКА, значения прогибов будут расти равномерно, вплоть до разрушения, пропорционально увеличению внешней нагрузки, в отличие от конструкций, армированных стальной арматурой. Особенностью работы стальной арматуры является наличие этапа, когда прогибы растут без увеличения внешней нагрузки в момент достижения напряжений, соответствующих пределу текучести, что не наблюдается у ПКА. Значения предела прочности на растяжение (временного сопротивления) у всех образцов ПКА находятся в интервале 889,1–1197,3 МПа, что выше, чем у стали 35ГС, равного по ГОСТ 5781-82 [18] 590 МПа, и соответствуют параметрам для высокопрочных сталей класса А-V и А-VI, имеющих значения временного сопротивления 1030 МПа и 1230 МПа соответственно.

По результатам испытаний установлено, что прочность и модуль упругости при растяжении существенно зависят от диаметра стержня. Чем меньше диаметр арматуры, тем выше ее прочность и модуль упругости. Данный факт объясняется тем, что полимеркомпозитная арматура состоит из стеклянных или базальтовых волокон, склеенных полимерным связующим, деформативность которого в несколько раз выше, чем волокна. При растяжении стержня ПКА разрывное усилие воспринимается наружными волокнами, расположенными на поверхности стержня, а затем последовательно через прослойки связующего передается волокнам, находящимся в его сердцевине. В связи с этим в процессе растяжения образца наибольшие напряжения получают волокна, расположенные на поверхности стержня [3, 19, 20]. Внутреннее

Гиздатуллин А.Р., Хозин В.Г., Куклин А.Н., Хуснутдинов А.М. Особенности испытаний и характер разрушения полимеркомпозитной арматуры

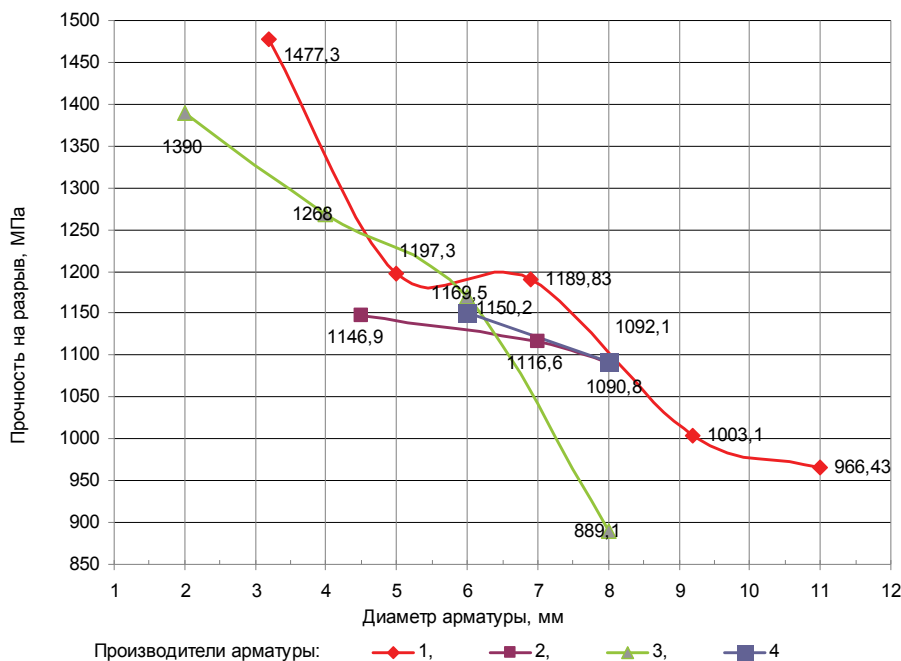
напряжение при растяжении в сечении стержня ПКА распределяется неравномерно, как показано на рисунке 5. Фактически у стержней больших диаметров средние волокна (сердцевина) сечения ПКА включается в работу тогда, когда наружные волокна уже имеют значительные внутренние напряжения. Разрушение образцов начинается с разрыва наиболее нагруженных волокон, расположенных по наружному периметру стержня, после чего за счет перераспределения напряжений происходит разрыв волокон в оставшемся сечении стержня.



**Рисунок 5. Напряженное состояние в сечении стержня стеклопластиковой арматуры при разрыве: 1 – стенки стального анкера, 2 – волокно, 3 – полимерное связующее**

Следовательно, чем меньше диаметр стержня, тем равномернее напряжение и полнее включены в работу волокна по сечению стержня и больше значение  $\sigma_{max}$ . А чем больше диаметр стержня, тем больше количество внутренних волокон сердцевины, выключенных из работы на растяжение.

На рисунке 6 показана зависимость предела прочности и модуля упругости при растяжении для различных стержней от их диаметра.



**Рисунок 6. Зависимость предела прочности при растяжении от диаметра образцов**

### Заключение

Характер поведения ПКА под нагрузкой значительно отличается от стальной арматуры: диаграмма « $\sigma$ – $\epsilon$ » практически линейная вплоть до разрушения арматуры, кроме того, имеется масштабный фактор, существенно влияющий на прочностные характеристики ПКА: прочность и модуль упругости ПКА снижаются с увеличением диаметра стержня.

В связи с этим остается открытым вопрос о назначении расчетного предела прочности при растяжении. Данная проблема становится еще более актуальной при учете длительной прочности и модуля упругости при растяжении. Причем, согласно [13], если прочность при растяжении полимеркомпозитной арматуры существенно снижается в процессе нахождения в бетоне, то значение модуля упругости практически не меняется.

Гиздатуллин А.Р., Хозин В.Г., Куклин А.Н., Хуснутдинов А.М. Особенности испытаний и характер разрушения полимеркомпозитной арматуры

Согласно [3] для расчета бетонных конструкций, армированных ПКА, расчетное сопротивление принимается как произведение временного сопротивления на коэффициенты длительной прочности  $k_1 = 0.65$ , коэффициенты эксплуатации  $k_2 = 0.8 - 0.9$  и изготовления  $k_3 = 0.8 - 0.95$ . В проекте СП «Конструкции из бетона с композитной неметаллической арматурой. Правила проектирования» [21] расчетное сопротивление предложено определять перемножением временного сопротивления на коэффициенты условий работы  $\gamma_{f1} = 0.7 - 1$ , длительного действия нагрузки  $\gamma_{f2} = 0.3 - 0.6$ , что соответствует 0.21–0.6 от начального значения временного сопротивления, определенного при кратковременных испытаниях, и декларируемых производителями как прочность ПКА. Согласно ACI 440.1R-06 [10] расчетное значение предела прочности принимается перемножением гарантированного предела прочности, заявленного производителем, на понижающий коэффициент, зависящий от условий эксплуатации и типа волокон  $c_E = 0.7 - 1$ .

На практике, учитывая низкий модуль упругости ПКА, для обеспечения нормативных требований по второй группе предельных состояний площадь сечения полимеркомпозитной арматуры несущих изгибаемых конструкций становится значительно больше, чем стальной, при тех же нагрузках. Этот факт приводит к неоправданности применения ПКА в обычных конструкциях, в связи с чем чаще всего ПКА находит свое применение для армирования кладки (в виде связей, сеток) [22–26] в слабо нагруженных, работающих на упругом основании конструкциях, где прочностной потенциал ПКА (даже сниженный понижающими коэффициентами) не реализуется в полной мере, либо в конструкциях, подвергающихся воздействию агрессивных сред, где перерасход арматуры компенсируется экономией средств на ремонт [27–30].

В связи с этим дальнейшие исследования и усовершенствование технологии производства ПКА необходимо направить прежде всего на увеличение модуля упругости и теплостойкости полимерного связующего, а не на повышение прочности при растяжении, которая и сейчас имеет нереализуемый потенциал.

### Литература

1. Хозин В.Г., Гиздатуллин А.Р., Куклин А.Н., Пискунов А.А. Сцепление полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном // Известия КГАСУ. 2013. №1(23). С. 211–213.
2. Зеленский Э.С., Куперман А.М., Горбаткина Ю.А., Иванова-Мумжиева В.Г., Берлин А.А. Армированные пластики - современные конструкционные материалы // Российский химический журнал. 2001. Т. XLV. №2. С. 56–74.
3. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1980. 102 с.
4. Морозова Т.С., Кузнецов Т.С. Внешнее армирование железобетонных колонн композиционным материалом на основе углеволокна // Инженерно-строительный журнал. 2010. №3. С. 35–38.
5. Параничева Н.В., Назмеева Т.В. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов // Инженерно-строительный журнал. 2010. №2. С. 19–22.
6. Курлапов Д.В., Куваев А.С., Родионов А.В., Валеев Р.М. Усиление железобетонных конструкций с применением полимерных композитов // Инженерно-строительный журнал. 2009. №3. С. 22–24.
7. Лешкевич О.Н. Ненапрягаемая арматура для железобетона – нормирование и практика // Строительная газета. 2013. № 45. С. 5–7.
8. ГОСТ 25.601-80. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах.
9. ГОСТ 25.604-82. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на изгиб при нормальной, повышенной и пониженной температурах.
10. ACI 440.3R-04 Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures, 2004. 40 p.
11. CAN/CSA-S806-02 (R2007) Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers. Canadian Standards Association, 2012. 206 p.
12. Kocaoz S., Samaranayake V.A., Nanni A. Tensile characterization of glass FRP bars // Composites: Part B. 2005. Vol. 36. Pp. 127–134.
13. Trejo D., Gardoni P., Kim J., Zidek J. Report FHWA/TX-09/0/6069-1. Long-term performance of GFRP reinforcement, 2009. 124 p.

14. Marta Baena Munoz. Study of bond behavior between FRP reinforcement and concrete. Technology doctorate program. 2010. 308 p.
15. Protasio F. Castro, Nicholas J. Carino. Tensile and nondestructive testing of FRP bars // Journal of composites for construction. 1998. Vol. 2. Pp. 17–27.
16. Novidis D.G., Pantazopoulou S.J. Beam Pull Out Tests of NSM – FRP and Steel Bars in Concrete. Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2008). 22–24 July 2008, Zurich, Switzerland. Pp. 323–333.
17. ГОСТ 31938-2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. М., 2013. 14 с.
18. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. М., 1994. 14 с.
19. Барабанщиков Ю.Г., Беляева С.В. Исследование стеклопластиковой арматуры для бетона // Фундаментальные исследования в технических университетах. Материалы X Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006. С. 332–333.
20. Барабанщиков Ю.Г., Беляева С.В. Модуль упругости пултрузионного стеклопластика // Фундаментальные исследования в технических университетах. Материалы IX Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. С. 312–313.
21. Проект СП «Конструкции из бетона с композитной неметаллической арматурой. Правила проектирования». М., 2013. 94 с.
22. Римшин В.И., Кустикова Ю.О. Теоретические исследования по определению величины сцепления базальтопластиковой арматуры с бетоном // Сборник статей по материалам 7-й международной научной конференции. Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов. Том 2. Воронеж: Изд-во ВГАСУ, 2013. С. 18–26.
23. Луговой А.Н. БЗС: Решение проблем трехслойных кирпичных стен [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [http://www.bzs.ru/library/articles/reshenie\\_problem\\_trekhslounykh\\_kirpichnykh\\_sten/](http://www.bzs.ru/library/articles/reshenie_problem_trekhslounykh_kirpichnykh_sten/) (дата обращения: 03.01.2014).
24. Блазнов А.Н., Волков Ю.П., Луговой А.Н., Савин В.Ф. О химической стойкости стеклопластиковой арматуры // Проектирование и строительство в Сибири. 2003. №3(15). С. 34–37.
25. Луговой А.Н. Дюбели «БИЙСК» в многослойных теплоизоляционных системах // СтройПРОФИль. 2002. №6(20). С. 60–61.
26. Русинов А. Композиты в строительстве: упругий модуль заинтересованности // Строительные ведомости. 2013. №19(423). С.4–5.
27. Benmokrane B., El-Salakawy E., Cherrak Z., Wiseman A. Fibre-reinforced polymer composite bars for the structural concrete slabs of a Public Works and Government Services Canada parking garage // Canadian journal of Civil Engineering. 2004. Pp. 732–748.
28. El-Salakawy E., Kassem C., Benmokrane B. Field application of FRP composite bars as reinforcement for bridge decks // 4th Structural Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering. Montréal, June 5–8, 2002.
29. Trejo D., Aguiñiga F., Yuan R.L., James R.W., Keating P.B. Characterization of design parameters for fiber reinforced polymer composite reinforced concrete systems. Report No.FHWA/TX-5/9-1520-3. 2003. [Электронный ресурс]. URL: <http://tti.tamu.edu/documents/9-1520-3.pdf>.
30. Ametrano Dave. Bond characteristics of glass fibre-reinforced polymer bars embedded in high performance and ultra-high performance concrete. 2011. Theses and dissertations. Paper 670.

*Антон Ринатович Гиздатуллин, Казань,  
+79172874466; эл. почта: antonchiks@mail.ru*

*Вадим Григорьевич Хозин, 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1  
+78432383913; эл. почта: khozin@kgasu.ru*

*Антон Николаевич Куклин, 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1  
+79872639336; эл. почта: labmost@kgasu.ru*

*Амиль Мансурович Хуснутдинов, 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1  
+78432383913; эл. почта: khozin@ksaba.ru*

© Гиздатуллин А. Р., Хозин В. Г., Куклин А. Н., Хуснутдинов А. М., 2014



doi: 10.5862/MCE.47.4

## Specifics of testing and fracture behavior of fibre-reinforced polymer bars

**A.R. Gizdatullin***Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia  
+79172874466; e-mail: antonchiks@mail.ru***V.G. Khozin***Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia  
+78432383913; e-mail: khozin@kgasu.ru***A.N. Kuklin***Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia  
+79872639336; e-mail: labmost@kgasu.ru***A.M. Khusnutdinov***Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia  
+78432383913; e-mail: khozin@ksaba.ru*

### Key words

fibre-reinforced polymer bars; glass fibers; basalt fibers; epoxy resin; tensile strength; elasticity module

### Abstract

The article contains the results of tensile testing of different types of FRP samples, the character of their destruction, dependence of the strength and elasticity module on the bars diameter. The results are compared with the calculated values of tensile strength of steel reinforcement.

Based on these results we arrived at conclusions about the comparability of the design values tensile strength of FRP with high-strength steel grades A -V and A -VI at much greater elasticity module at last. As a result, the use of FRP reinforcement carrier bent constructions can be possible only in the preliminary reducing deformation reinforcement (its prestressing), or its significant overruns.

It was concluded, that further improvement of manufacturing FRP technology should be directed to increase, primarily from the module of reinforcement elasticity, rather than its tensile strength.

### References

1. Khozin V.G., Gizdatullin A.R., Kuklin A.N., Piskunov A.A. Stsepleniye polimerkompozitnoy armatury s tsementnym betonom [Adhesion of polymer composite reinforcement with cement concrete]. *News of KSUAE*. 2013. No. 1(23). Pp. 211–213. (rus)
2. Zelenskiy E.S., Kuperman A.M., Gorbatkina Yu.A., Ivanova-Mumzhiyeva V. G., Berlin A. A. Armirovannyye plastiki – sovremennyye konstruktsionnyye materialy [Reinforced plastics – modern construction materials]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 2001. No. 2. Pp. 56–74. (rus)
3. Frolov N.P. *Stekloplastikovaya armatura i stekloplastbetonnyye konstruktsii* [Fiberglass rebar and construction with FRP bars]. Moscow: Stroyizdat, 1980. 102 p. (rus)
4. Morozova T.S., Kuznetsov V.D. Vneshneye armirovaniye zhelezobetonnykh kolonn kompozitsionnym materialom na osnove uglevolon [External reinforcement of reinforced concrete columns with composite materials based on carbon fiber]. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 3. Pp.35–38. (rus)
5. Paranicheva N.V., Nazmeyeva T.V. Usileniye stroitelnykh konstruktsiy s pomoshchyu uglerodnykh kompozitsionnykh materialov [Strengthening of building structures using carbon composite materials]. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 2. Pp.19–22. (rus)
6. Kurlapov D.V., Kuvayev A.S., Rodionov A.V., Valeyev R.M. Usileniye zhelezobetonnykh konstruktsiy s primeneniym polimernykh kompozitov [Strengthening of reinforced concrete structures using polymer composites]. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 3. Pp. 22–24. (rus)
7. Leshkevich O.N. Nenaprygayemaya armatura dlya zhelezobetona – normirovaniye i praktika [Nonprestressed bars for reinforced concrete - regulation and practice]. *Stroitel'naya gazeta*. 2013. No. 45. Pp. 1–2. (rus)

8. GOST 25.601-80. *Raschety i ispytaniya na prochnost. Metody mekhanicheskikh ispytaniy kompozitsionnykh materialov s polimernoy matritsey (kompozitov). Metod ispytaniya ploskikh obraztsov na rastyazheniye pri normalnoy, povyshennoy i ponizhennoy temperaturakh* [Calculations and tests of strength. Methods of mechanical testing of composite materials with a polymer matrix (composite). Method of tensile test of plated specimen with normal, low and high temperatures]. Moscow, 1981. 9 p. (rus)
9. GOST 25.604-82. *Metody mekhanicheskikh ispytaniy kompozitsionnykh materialov s polimernoy matritsey (kompozitov). Metod ispytaniya na izgib pri normalnoy, povyshennoy i ponizhennoy temperaturakh* [Methods of mechanical testing of composite materials with a polymer matrix (composites). Method of bending test with normal, low and high temperatures]. Moscow, 1984. 7 p. (rus)
10. ACI 440.3R-04 *Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures*, 2004. 40 p.
11. CAN/CSA-S806-02 (R2007) *Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers*. Canadian Standards Association, 2012. 206 p.
12. Kocaoz S., Samaranayake V.A., Nanni A. Tensile characterization of glass FRP bars. *Composites: Part B*. 2005. No. 36. Pp. 127–134.
13. Trejo D., Gardoni P., Kim J., Zidek J. Report FHWA/TX-09/0/6069-1. *Long-term performance of GFRP reinforcement*, 2009. 124 p.
14. Marta Baena Munoz. *Study of bond behavior between FRP reinforcement and concrete*. Technology doctorate program. 2010. 308 p.
15. Castro P.F., Carino N.J. Tensile and nondestructive testing of FRP bars. *Journal of composites for construction*. 1998. No. 2. Pp. 17–27.
16. Novidis D.G., Pantazopoulou S.J. Beam Pull Out Tests of NSM – FRP and Steel Bars in Concrete. *Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2008)*. 22–24 July 2008, Zurich, Switzerland.
17. GOST 31938-2012. *Armatura kompozitnaya polimernaya dlya armirovaniya betonnykh konstruksiy* [FRP bar reinforcement for concrete structures]. Moscow, 2013. 14 p. (rus)
18. GOST 5781-82. *Stal goryachekatanaya dlya armirovaniya zhelezobetonnykh konstruksiy. Tekhnicheskiye usloviya* [Hot-rolled steel for concrete structures]. Moscow, 1994. 14 p. (rus)
19. Barabanshchikov Yu.G., Belyayeva S.V. Issledovaniye stekloplastikovoy armatury dlya betona [Investigation of fiberglass reinforcement for concrete]. *Fundamentalnyye issledovaniya v tekhnich. universitetakh. Materialy Kh Vseross. konf. po problemam nauki i vysshey shkoly* [Fundamental research in technical universities. Materials X All-Russian Conference on Science and Higher Education]. Saint-Petersburg: SPbGPU, 2006. Pp. 332–333. (rus)
20. Barabanshchikov Yu.G., Belyayeva S.V. Modul uprugosti pultruzionnogo stekloplastika [Modulus of elasticity of pultruded fiberglass]. *Fundamentalnyye issledovaniya v tekhnicheskikh universitetakh. Materialy IX Vserosskoy konferentsii po problemam nauki i vysshey shkoly* [Fundamental research in technical universities. Materials X All-Russian Conference on Science and Higher Education]. Saint-Petersburg: SPbGPU, 2005. Pp. 312–313. (rus)
21. Projekt SP. *Konstruksii iz betona s kompozitnoy nemetallicheskoj armaturoj. Pravila proyektirovaniya* [Set of rules. Construction of concrete with non-metallic composite reinforcement. Design rules]. Moscow, 2013. 94 p. (rus)
22. Rimshin V.I., Kustikova Yu.O. Teoreticheskiye issledovaniya po opredeleniyu velichiny stsepleniya bazaltplastikovoy armatury s betonom [Theoretical studies on determination of the amount adhesion of basalt plastic reinforcement with concrete]. *Sbornik statey po materialam 7-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Mekhanika razrusheniya betona, zhelezobetona i drugikh stroitelnykh materialov* [Collection of articles based on the 7th International Conference. Fracture mechanics of concrete, reinforced concrete and other building materials]. Vol. 2. Voronezh: VGASU, 2013. Pp. 18–26. (rus)
23. Lugovoy A.N. *BZS: Resheniye problem trekhsloynnykh kirpichnykh sten* [Biysk factory of glass-fibre plastic: Solving problems of three-ply brick walls]. [Online]. System requirements: AdobeAcrobatReader.URL: [http://www.bzs.ru/library/articles/reshenie\\_problem\\_trekhsloynnykh\\_kirpichnykh\\_sten/](http://www.bzs.ru/library/articles/reshenie_problem_trekhsloynnykh_kirpichnykh_sten/) (accessed: January 3, 2014).
24. Blaznov A.N., Volkov Yu.P., Lugovoy A.N., Savin V.F. O khimicheskoy stoykosti stekloplastikovoy armatury [About chemical resistance of fiberglass reinforcement]. *Proyektirovaniye i stroitelstvo v Sibiri*. 2003. No. 3(15). (rus)
25. Lugovoy A.N. Dyubeli «BIYSK» v mnogoslownykh teploizolyatsionnykh sistemakh [Dowels "BIYSK" in multilayer thermal insulation systems]. *StroyPROfil*. 2002. No. 6(20). (rus)
26. Rusinov A. Kompozity v stroitelstve: uprugiy modul zainteressovannosti [Composites in Construction: elastic modulus of interest]. *Stroitelnyye vedomosti*. 2013. No. 19(423). Pp. 4–5. (rus)

Gizatullin A.R., Khozin V.G., Kuklin A.N., Khusnutdinov A.M. Specifics of testing and fracture behavior of fibre-reinforced polymer bars

27. Benmokrane B., El-Salakawy E., Cherrak Z., Wiseman A. Fibre-reinforced polymer composite bars for the structural concrete slabs of a Public Works and Government Services Canada parking garage. *Canadian journal of Civil Engineering*. 2004. Vol. 31(5). Pp. 732–748.
28. Ehab El-Salakawy, Chakib Kassem, Brahim Benmokrane. Field application of FRP composite bars as reinforcement for bridge decks. *4th Structural Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering*. Montréal, June 5–8, 2002.
29. Trejo D., Aguiñiga F., Yuan R.L., James R.W., Keating P.B. *Characterization of design parameters for fiber reinforced polymer composite reinforced concrete systems*. Report No.FHWA/TX-5/9-1520-3. 2003. [Online]. System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://tti.tamu.edu/documents/9-1520-3.pdf>. (accessed: April 1, 2014).
30. Ametrano D. *Bond characteristics of glass fibre-reinforced polymer bars embedded in high performance and ultra-high performance concrete*. 2011. Theses and dissertations. Paper 670.

**Full text of this article in Russian: pp. 40–47**