



УДК 624.071

Зиннуров Тагир Альмирович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: leongar@mail.ru

Майстренко Игорь Юрьевич

кандидат технических наук, доцент

Email: igor_maystr@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Ерохин Дмитрий Игоревич

проектировщик

Email: erokhin1604@mail.ru

ООО Научно-производственный центр «Строй-Экспертиза»

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Калинина, д. 48, оф. 506А

Замилова Айгуль Хайдаровна

проектировщик

Email: zamilova_a1994@mail.ru

ООО «А.ЭЛИТ-ГРУПП»

Адрес организации: 420107, Россия, г. Казань, ул. М. Салимжанова, д. 9, к. 2, оф. 406

Умаров Булат Шавкатович

инженер-технолог

Email: bulat.umar@gmail.com

АО «Татавтодор»

Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 18/75

Исследование влияния утолщений в стеклопластиковой арматуре на сцепление с бетоном

Аннотация

Постановка задачи. Совместная работа бетона и арматуры преимущественно обеспечивается механическим сцеплением. Для повышения прочности сцепления предлагается локально увеличивать сечение стеклопластиковой арматуры за счет утолщений. Утолщения создаются на производстве, путем внедрения в структуру стеклопластиковой арматуры обрезков при протяжке нитей через фильеру.

Результаты. Основные результаты работы состоят в экспериментальном исследовании нового профиля стеклопластиковой арматуры с определением прочностных и деформативных характеристик сцепления, выполненных по ГОСТ 31938-2012.

Выводы. Значимость полученных результатов исследования для строительной отрасли состоит в том, что арматурные стержни с утолщениями повышают прочность сцепления на 67,8 % по сравнению с аналогичной арматурой без утолщений и на 46,6 % по сравнению с другими производителями. Данное решение может применяться в тех случаях, когда длина заделки в бетон недостаточна для передачи усилий, то есть является альтернативой крюкам, лапкам, гайкам и т.д., применяемым для стальной арматуры.

Ключевые слова: стеклопластиковая арматура, сцепление, анкеровка, утолщение, испытание, прочность.

Для цитирования: Зиннуров Т. А., Майстренко И. Ю., Ерохин Д. И., Замилова А. Х., Умаров Б. Ш. Исследование влияния утолщений в стеклопластиковой арматуре на сцепление с бетоном // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 84–93. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_84.

1. Введение

Не секрет, что в инженерном деле совместная работа бетона и арматуры определяется сочетанием физико-механических свойств этих материалов. Под нагрузкой бетон и арматура деформируются совместно, что приводит к перераспределению

напряжений в выгодном для них сочетании, то есть бетон препятствует сжатию сечения элемента, а арматура – растяжению. Следует считать, что силы сцепления между арматурой и бетоном образуются в процессе твердения бетона, когда бетон уменьшается в объеме и, обволакивая арматуру, препятствует её перемещению.

Совместная работа стержневой арматуры и бетона характеризуется несколькими условиями [1-3]:

- наличием механического сцепления, составляющим около 75 % от общей величины сцепления, которое в основном реализуется путем изменения поперечного профиля (выступы и шероховатость);
- наличием сил трения между поверхностями арматуры и бетона, возникающим в процессе твердения бетона и составляющим до 20 % от общей величины сцепления;
- наличием адгезии (межмолекулярными взаимодействиями материалов) по контуру поверхности арматуры в контакте с бетоном, составляющим около 5-10 % от общей величины сцепления.

Отметим тот факт, что прочность сцепления, как стальной, так и полимеркомпозитной арматуры (АКП), в большей степени обеспечивается механическим зацеплением арматуры за бетон, что требует более детального исследования.

Многие авторы [4-7] в своих исследованиях рассматривают совместную работу бетона и полимеркомпозитной арматуры и предлагают ряд рекомендаций по увеличению прочности сцепления. Исследования, приведенные в работах [4-6], продемонстрировали влияние типа профиля арматуры на показатель контактного напряжения. Учеными в работе [7-9] описывается исследования влияния диаметра и длины заделки полимеркомпозитных арматурных стержней на прочность и деформативность изгибаемых элементов.

Большинство авторов согласны с тем, что требуются уточнения в расчетных формулировках и коэффициентах, которые применимы к полимеркомпозитной арматуре, и учитывают особенности её строения и структуры [3]. Главный недостаток АКП заключается в обеспечении стабильной прочности сцепления арматурных стержней с бетоном, особенно на участках ее анкеровки. При недостаточной длине анкеровки стальной арматуры обычно применяют анкера. Преимущественно анкера устанавливаются на конце стержня в виде загиба, крюка или отгиба. На сегодняшний день присутствуют технологические сложности изменения формы на концах арматурных стержней из полимеркомпозитных материалов даже в заводских условиях. Отсутствие возможности загибать АКП приводит к стремлению повысить механическое сцепление между полимеркомпозитной арматурой и бетоном путем формирования дополнительных неровностей.

2. Материалы и методы

Авторами для повышения прочности сцепления предлагается перспективная форма профиля стеклопластиковой арматуры (АСК) с утолщениями. Данный вид стержней широко применяется в строительстве в качестве гибких связей для соединения несущего и облицовочного слоев многослойных ограждающих конструкций из штучных материалов (рис. 1а). Предложенная форма стеклопластиковой арматуры представляет собой стержень диаметром 5,5 мм изготовленный методом пултрузии, в нем с определенным шагом сформированы утолщения цилиндрической формы диаметром 7 мм. Утолщения в стержне формируются на стадии ее протяжки за счет внедрения заранее подготовленного обрезка стеклопластиковой арматуры аналогичного диаметра.

Предварительно образцы рассматриваемой стеклопластиковой арматуры прошли испытания на разрыв, отмечается соответствие полученных результатов допускаемому диапазону разрывной силы, указанному в сертификате. Наиболее слабым участком арматуры оказалось утолщение, так как на всех образцах разрушение наблюдалось по длине анкерного участка (рис. 1б).

Авторами высказывается предположение, что утолщение сыграет роль анкера, который повысит прочность механического сцепления АСК и бетона. Выбранная форма стержня рассматривается как объект исследования, поэтому для уточнения характеристик взаимодействия бетона с альтернативной формой АСК проводилась экспериментальная работа.

Целью проводимого эксперимента является исследование взаимодействия бетона и АСК с утолщениями на действие вырывающей силы. Ход и порядок проведения эксперимента соответствует нормированной методике выдергивания стержня из куба (Pull-out test), согласно ГОСТ 31938-2012. Оборудование и оснастка, используемая в эксперименте, подробно описываются в статье [2].

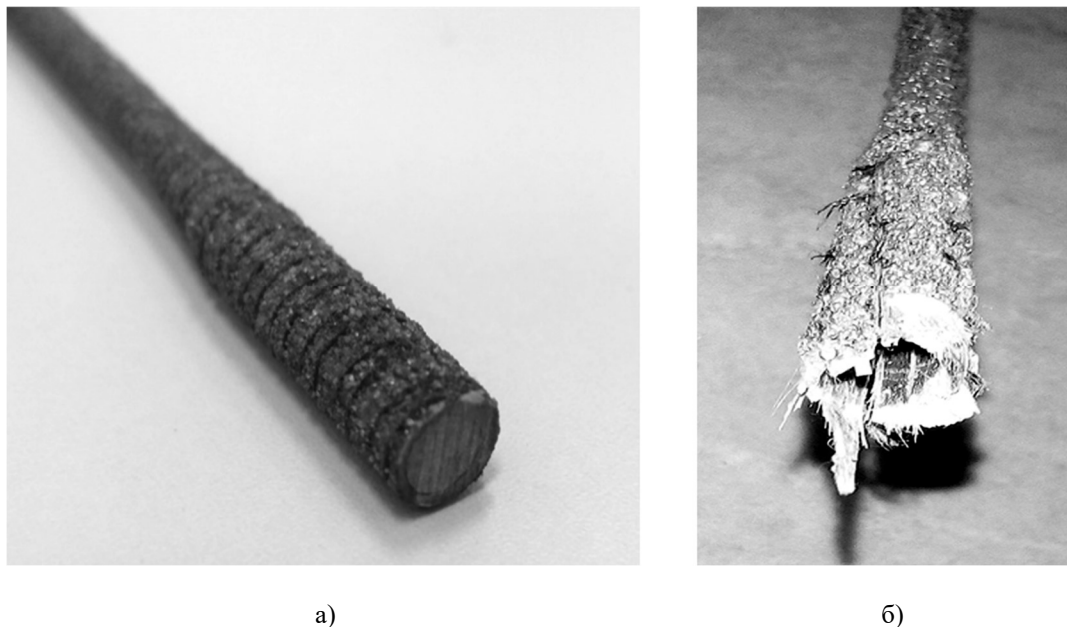


Рис. 1. Стеклопластиковая арматура с утолщением цилиндроконической формы:
а) общий вид; б) разрушение образца при испытании на разрыв (иллюстрация авторов)

Для данного испытания было изготовлено 2 вида образцов по 5 штук каждого вида. Вид образцов подобран таким образом, чтобы понять, как зависит прочность сцепления арматуры (АСК) с бетоном в зависимости от формы и длины изменения сечения стержня.

Образцы маркировали следующим образом:

- I5.5_i – образцы взаимодействуют с бетоном кубика на длине 3/4 от $L_{анк}$ начальным сечением стержня, а на длине 1/4 $L_{анк}$ утолщением; общая длина анкеровки в бетон составляет 30 мм;

- П7.0_i – образцы взаимодействуют с бетоном кубика на длине 1/4 от $L_{анк}$ начальным сечением стержня, а на длине 3/4 $L_{анк}$ утолщением; общая длина анкеровки в бетон составляет 30 мм.

3. Результаты

Результаты испытаний образцов представлены в табл. 1 и на рис. 2. Отметим, что нагрузка на домкрате, направленная на действие вырывающей силы из бетонного кубика, прикладывалась до момента полного или частичного проскальзывания, превышающего 2,5 мм.

Проверка адекватности полученных результатов испытания проводилась по критерию Шовене, если выполняется условие $|\bar{P}_i - P_i| > 1,63 \cdot \sigma_p$, то эксперимент считается недействительным. Следовательно, образцы I5.5_i и I7.0₂ не прошли проверку, и не будут учитываться в дальнейшем анализе.

Величина прочности сцепления определяется по формуле ГОСТ 31938-2012:

$$\tau_r = P / c L_{fb}, \quad (1)$$

где P – прилагаемая нагрузка, c – длина анкеровки в бетон, L_{fb} – окружность стержня, которая определяется по номинальному диаметру стержней, для образцов I7.0_i в скобках указаны значения, найденные по диаметру утолщения. Результаты расчетов также занесены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты испытаний арматуры с утолщениями
на действие вырывающей силы из бетонных кубиков**

№ обр.	Предельная вырывающая сила P , кН	Критерий Шовене	τ_r , МПа	$\tau_{r.сред}$, МПа	Характер разрушения образца
Образцы I5.5 _i					
1	9,33	0,294 < 4,021	19,65	22,34	По контактной зоне со срезом бетона
2	11,5	1,876 < 4,021	24,24		Срез песчаного слоя со смятием в зоне утолщения
3	9,84	0,216 < 4,021	20,72		
4	11,8	2,176 < 4,021	24,79		
5	5,57	4,054 > 4,021	-		
Образцы II7.0 _i					
1	11,9	1,44 < 4,813	25,04 (19,75)	21,99 (17,31)	По контактной зоне со срезом бетона
2	4,43	4,94 > 4,813	-		Расслоение стержня в зоне анкеровки
3	12,3	1,84 < 4,813	25,89 (20,36)		По контактной зоне арматуры и бетона
4	9,20	1,25 < 4,813	19,36 (15,21)		
5	8,41	2,04 < 4,813	17,70 (13,91)		

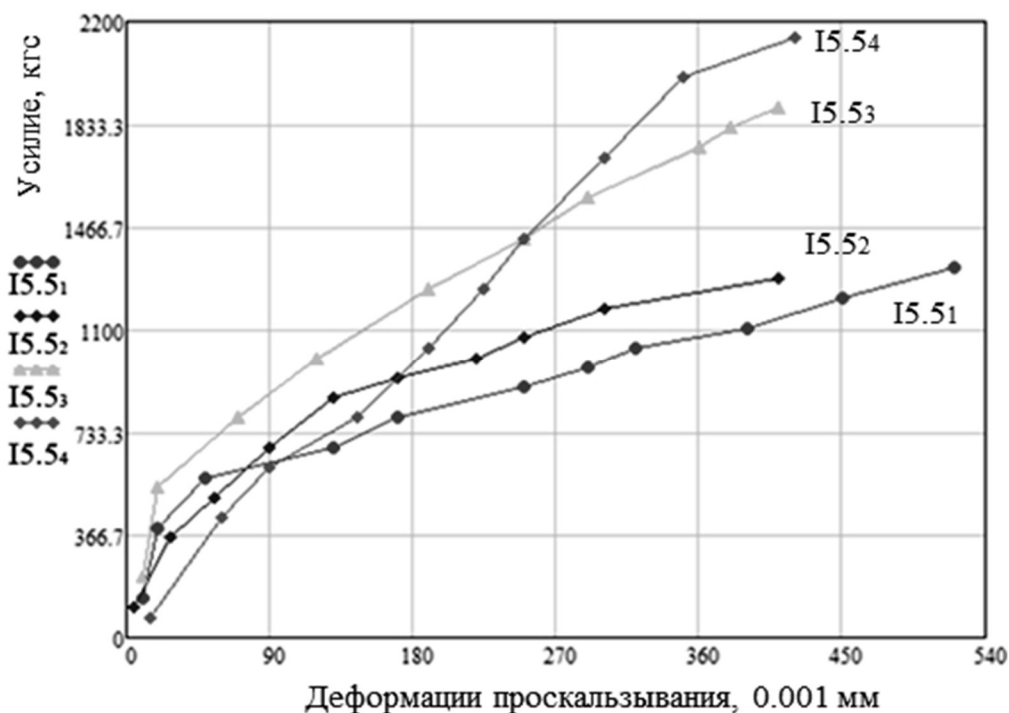


Рис. 2. Графики зависимости «усилие – деформации проскальзывания» для образцов I5.5_i
(иллюстрация авторов)

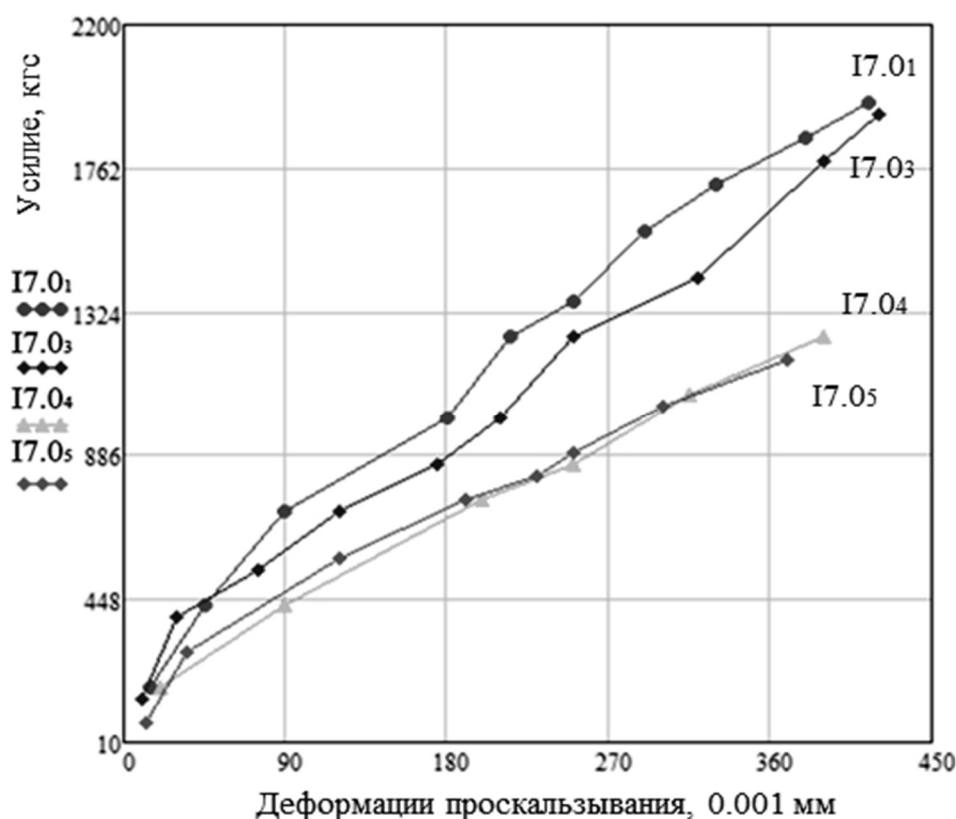


Рис. 3. Графики зависимости «усилие – деформации проскальзывания» для образцов I7.0_i (иллюстрация авторов)

4. Обсуждение

Процесс разрушения механических и молекулярных связей между арматурой и бетоном представляет собой нелинейный многостадийный процесс. На графиках зависимости «усилие-проскальзывание» (рис. 2-3) можно выделить две классические зоны [1, 2]. В первой зоне происходит нарастание усилия в арматуре при относительно малых проскальзывающих деформациях стержня относительно бетона. Совместную упругую работу бетона и арматуры можно характеризовать линейной зависимостью «усилие-проскальзывание» до значений 5,4-8,3 МПа. Вторая зона характеризуется постепенным увеличением скорости деформации по причине локального проскальзывания стержня. Причиной локального проскальзывания стержня являются нарушение связей при развитии поперечных трещин в зоне контакта и наличие неоднородного напряженно-деформированного состояния по длине анкеровки. Нелинейность в деформациях сопровождалась скачкообразными проскальзываниями стержня, которые зафиксированы при испытании образцов.

Отметим, что вырыв стержня в ходе испытания образцов, происходил по двум сценариям: разрушение контактной зоны бетона с арматурным стержнем или срез песчаного и частично эпоксидного покрытия в зоне сцепления арматуры с бетоном. Оба сценария выявили низкие показатели когезионной прочности материалов сцепления. Аналогичные результаты были получены в работах [2-3]. Разница в результатах испытания образцов I5.5_i и I7.0_i незначительная, а относительное отклонение составляет 1,5 %.

Если учесть тот факт, что стержни образцов I7.0_i взаимодействуют с бетоном по 3/4 своей длины сечением в 7 мм, тогда пересчет по формуле (1) демонстрирует снижение предельных касательных напряжений в зоне контакта до 22,5 %. Отбросив сопротивление вырывающей силе по боковой поверхности стержня, отклонение в 22,5 % обусловлено механическим зацеплением утолщения в зоне контакта, а, следовательно, сопротивлением бетона смятию и последующему скалыванию. Для образцов I5.5_i, по сравнению с образцами I7.0_i, рабочая толщина бетона скалыванию превосходит в три раза. Полученные

выводы требуют подтверждения альтернативными методами испытания, которые позволяют оценить работу цепочки утолщений в стержне совместно с бетоном.

Прежде чем перейти к выводам, проведем сравнительный анализ результатов экспериментов, которые нашли отражение в работах авторов [2-4, 7, 8-12].

Таблица 2

Сводная таблица результатов испытаний образцов в работах [2-4, 7, 8-12]

№ п/п	Вид арматуры, материалы и производитель	Фактический диаметр, мм	Класс бетона	Прочность сцепления, МПа
1	Опесчанная стеклопластиковая арматура с утолщениями производитель ООО «Фрима»	5,5 с утолщениями до 7,0	B25	22,34
2	Опесчанная стеклопластиковая арматура производитель ООО «Фрима» [2, 12]	5,5	B25	13,31
3	Опесчанная стеклопластиковая арматура производитель ООО «АНП-Композит» [3]	8,0	B25	19,0
4	Стеклопластиковая арматура с вдавленной навивкой ООО «Бийский Завод Стеклопластиков» [3]	7,5	B25	15,3
5	Стеклопластиковая арматура с навивкой ООО «Бийский Завод Стеклопластиков», г. Бийск [3]	8,0	B25	14,1
6	Стеклопластиковая арматура с навивкой из стеклоровинга типа Е и смолы «EpiKote 828» [10]	11,19	B25	14,26
7	Стеклопластиковая арматура с вдавленной навивкой [11]	8,0	B30	23,15
8	Стеклопластиковая арматура с модифицированной плоской навивкой стекловолокном производства ООО «Пласт-Композит» [4]	12,0	B35	15,9
9	Опесчанная стеклопластиковая арматура из стеклоровинга типа Е и смолы винилэфирной смолы [7]	9,5	B80	26,94
10	Стеклопластиковая арматура с деформированным профилем [8]	8,0	B60	20,63
11	Опесчанная стеклопластиковая арматура [8]	8,0	B60	18,51

В табл. 2 представлена только часть исследований в данной области и не рассматривались работы, в которых использовались модифицированные бетоны и циклические нагрузки [13-17]. Нужно отметить зарубежный опыт работы с бетонами высоких классов, для которых показатели прочности сцепления существенно выше (пункты таблицы 9-11). Для дальнейшего объективного сравнения остановимся на результатах испытаний на выдергивающую силу из наиболее популярного класса бетона B25 (пункты таблицы 1-6). К этому классу относятся несколько производителей арматуры с диаметром от 5,5 до 11,29 мм, дисперсия прочности сцепления для них составляет 4,22 МПа, хотя отсутствует выраженная зависимость «прочность сцепления – диаметр», поэтому можно однозначно отметить, что на силу сцепления оказывает влияние материал и форма стержней. Невзирая на все физические и конструктивные особенности стержней, утолщение увеличивает прочность сцепления на 46,6 % относительно среднеарифметического показателя прочности всех рассмотренных модификаций. В работе [2] использовался аналогичный вид и диаметр стержней, по сравнению с ним прочность сцепления стержней с утолщением увеличилась на 67,8 %. Полученные результаты нельзя экстраполировать по всей длине стержня, утолщения располагаются локально. В первую очередь степень увеличения прочности сцепления будет зависеть от расположения, диаметра и длины утолщения относительно зоны контакта с бетоном.

5. Заключение

1. Потеря прочности сцепления бетона и полимеркомпозитных стержней с утолщениями носит типичный для всех аналогичных исследований когезионный характер, когда происходит разрушение контактной зоны бетона с арматурным стержнем или срез песчаного и частично эпоксидного покрытия в зоне сцепления арматуры с бетоном.

2. Экспериментальные исследования установили, что величина осевого вырывающего усилия стеклопластиковой арматуры из бетонного куба для образцов I5.5_i и

I7.0; сопоставимы, относительное отклонение средних величин составляет 1,5 %. Так же было установлено, что длина анкеровки утолщения в теле бетона приводит к снижению прочности сцепления до 22,5 %. для образцов I7.0. Из-за небольшой длины контактной зоны и ограничений в количестве утолщений, полученные выводы требуют подтверждения, путем проведения альтернативных методов испытания.

3. Арматурные стержни с утолщениями повышают прочность сцепления на 67,8 % по сравнению с аналогичной арматурой без утолщений и на 46,6 % по сравнению с другими производителями. Можно сделать вывод, что наличие утолщения в зоне анкеровки повышает прочность сцепления, следовательно, участок стрежня с переменным диаметром может применяться в тех случаях, когда длина заделки в бетон недостаточна для передачи усилий.

Список библиографических ссылок

1. Холмянский М. М. Контакт арматуры с бетоном. М. : Стройиздат, 1981. 184 с.
2. Зиннуров Т. А., Пискунов А. А., Сафиюлина Л. Г., Петропавловских О. К., Яковлев Д. Г. Численное моделирование сцепления композитной арматуры с бетоном // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. Вып. 4. С. 1–12. DOI: 10.15862/11TVN415.
3. Гиздатуллин А. Р. Совместная работа полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном в конструкциях. Казань, 2018.
4. Бенин А. В., Семенов С. Г. Экспериментальные исследования сцепления композитной арматуры с плоской навивкой с бетоном // Промышленное и гражданское строительство. 2013. Вып. 9. С. 74–76.
5. Караваев И. В., Румянцева В. Е., Коновалова В. С. Влияние вида анкеровки на адгезию композитной арматуры к бетону // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (Smartex). 2017. Вып. 1. С. 115–117.
6. Исследование свойств базальтопластиковой арматуры и ее сцепления с бетоном // Строительство: наука и образование : интернет-журнал. 2014. URL: http://www.nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2014/01/1_K_ustikova.pdf (дата обращения: 12.09.2020).
7. Mazaheripour H., Barros J. A., Sena-Cruz J. M., Pepe M., Martinelli E. Experimental study on bond performance of GFRP bars in self-compacting steel fiber reinforced concrete // Composite Structures. 2013. Vol. 95. P. 202–212.
8. Saleh N., Ashour A., Lam D., Sheehan T. Experimental investigation of bond behaviour of two common GFRP bar types in high – Strength concrete // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 201. P. 610–622.
9. Садин Э. Я. Расчетная оценка анкеровки в бетоне стеклопластиковой арматуры, производимой в Республике Беларусь // Наука и техника. 2016. Т. 15. Вып. 4. С. 308–314. DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-4-308-314
10. Богданова Е. Р. Изменение свойств сцепления композитной полимерной арматуры с бетоном в условиях различных сред // Строительные материалы и изделия. 2016. Вып. 2. С. 39–43.
11. Экспериментальные исследования сцепления композитной неметаллической арматуры с бетоном // Frp-rebar.com : интернет-журнал. 2017. URL: http://www.frp-rebar.com/frp-rebar_test_adhesion_concrete (дата обращения: 12.09.2020).
12. Zinnurov T., Piskunov A., Safiyulina L., Petropavlovskikh O., Yakovlev D., Berezhnoi D., Balafendieva I. Numerical modeling of composite reinforcement with concrete // Journal of Physics: Conference Series. 2019. P. 042046. DOI: 10.1088/1742-6596/1158/4/042046.
13. Achillides Z., Pilakoutas K. FE modelling of bond interaction of FRP bars to concrete // Structural Concrete. 2006. Vol. 7. P. 7–16.
14. Baena M., Torres L., Turon A., Barris C. Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test // Composites Part B-engineering. 2009. Vol. 40. P. 784–797.

15. Benmokrane B., Tighiouart B., Chaallal O. Bond strength and load distribution of composite GFRP reinforcing bars in concrete // *Aci Materials Journal*. 1996. Vol. 93. P. 254-259.
16. Okelo R., Yuan R. Bond Strength of Fiber Reinforced Polymer Rebars in Normal Strength Concrete // *Journal of Composites for Construction*. 2005. Vol. 9. P. 203–213.
17. Alavi-Fard M., Marzouk H. Bond behavior of high strength concrete under reversed pull-out cyclic loading // *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2002. Vol. 29. P. 191–200.
18. Kim B., Lee J. Resistance of interfacial debonding failure of GFRP bars embedded in concrete reinforced with structural fibers under cycling loads // *Composites Part B-engineering*. 2019. Vol. 156. P. 201–211.
19. Гиздатуллин А. Р., Хозин В. Г., Куклин А. Н., Хуснутдинов А. М. Особенности испытаний и характер разрушения полимеркомпозитной арматуры // *Инженерно-строительный журнал*. 2014. Вып. 3. С. 40–47. DOI: 10.5862/МСЕ.47.4.
20. Хозин В. Г., Гиздатуллин А. Р. Совместимость полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном в конструкциях // *Construction materials*. 2017. Вып. 11. С. 30–38.

Zinnurov Tagir Almirovich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: leongar@mail.ru

Majstrenko Igor Yurevich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: igor_maystr@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Erokhin Dmitry Igorevich

project designer

Email: erokhin1604@mail.ru

LLC Scientific and production centre « Stroi-Ekspertiza »

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Kalinin st., 48, 506A

Zamilova Aigul Haidarovna

project designer

Email: zamilova_a1994@mail.ru

LLC «A.ELIT-GRUPP»

The organization address: 420107, Russia, Kazan, M. Salimzhanov st., 9, 406

Umarov Bulat Shavkatovich

technical engineer

Email: bulat.umar@gmail.com

STC «Tatavtodor»

The organization address: 420012, Russia, Kazan, Dostoevskiy st., 18/75

Investigation of the effect of thickenings in fiberglass reinforcement on adhesion to concrete**Abstract**

Problem statement. The combined action of concrete and reinforcement is mostly ensured by adhesion. It is proposed to increase the cross-section of fiberglass reinforced polymer (FRP) locally to achieve a higher bond strength. Thick places are creating during the production of FRP by intervening scraps in the structure on reinforcement while threads are pulling through a die hole.

Results. The main results of the work consist of the experimental study of a new profile of FRP with the determination of the strength and deformation characteristics of the adhesion, performed by GOST 31938-2012.

Conclusions. The importance of the research results obtained for the construction industry is that bars locally increased cross-section have 67.8 % more adhesion effect compared to similar reinforcement without thickening and 46.6 % more adhesion compared to other manufacturers.

This solution can be used in cases where the length of the embedment in concrete is not sufficient to transfer forces, so it is an alternative to hooks, nuts, etc. used for steel reinforcement.

Keywords: fiberglass reinforced polymer, adhesion, anchoring, thickening, testing, strength.

For citation: Zinnurov T. A., Majstrenko I. Yu., Erokhin D. I., Zamilova A. Kh., Umarov B. Sh. Investigation of the effect of thickenings in fiberglass reinforcement (FRP) on adhesion to concrete // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 84–93. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_84.

References

1. Kholmyanskiy M. M. Reinforcement contact with concrete. M. : Stroyizdat, 1981. 184 p.
2. Zinnurov T. A., Piskunov A. A., Safiyulina L. G., Petropavlovskikh O. K., Yakovlev D. G. Numerical modeling of the adhesion of composite reinforcement to concrete // Naukovedenie Internet magazine. 2015. Vol. 7. Iss. 4. P. 1–12. DOI: 10.15862/11TVN415.
3. Gizdatullin A. R. Joint work of polymer composite reinforcement with cement concrete in structures. Kazan, 2018.
4. Benin A. V., Semenov S. G. Experimental studies of the adhesion of flat-wound composite reinforcement with concrete // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2013. Iss. 9. P. 74–76.
5. Karavaev I. V., Rumyantseva V. E., Konovalova V. S. Influence of the type of anchoring on the adhesion of composite reinforcement to concrete // Ivanovo State Polytechnic University // Physics of fibrous materials: structure, properties, science-intensive technologies and materials (Smartex). 2017. Iss. 1. P. 115–117.
6. Kustikova Y. O. Investigation of the properties of basalt-plastic reinforcement and its adhesion to concrete // Construction: Science and Education : Internet magazine. 2014. URL: http://www.nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2014/01/1_Kustikova.pdf (reference date: 12.09.2020).
7. Mazaheripour H., Barros J. A., Sena-Cruz J. M., Pepe M., Martinelli E. Experimental study on bond performance of GFRP bars in self-compacting steel fiber reinforced concrete // Composite Structures. 2013. Iss. 95. P. 202–212.
8. Saleh N., Ashour A., Lam D., Sheehan T. Experimental investigation of bond behaviour of two common GFRP bar types in high – Strength concrete // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 201. P. 610–622.
9. Sadin E. Ya. Estimated assessment of anchoring in concrete of fiberglass reinforcement produced in the Republic of Belarus // Science and technology. 2016. Vol. 15. Iss. 4. P. 308–314. DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-4-308-314.
10. Bogdanova E. R. Changes in the properties of adhesion of composite polymer reinforcement with concrete in different environments // Building materials and products. 2016. Iss. 2. P. 39–43.
11. Experimental studies of the adhesion of non-metallic composite reinforcement to concrete // Frp-rebar.com : Internet magazine. 2017. URL: http://www.frp-rebar.com/frp-rebar_test_adhesion_concrete (reference date: 09.12.2020).
12. Zinnurov T., Piskunov A., Safiyulina L., Petropavlovskikh O., Yakovlev D., Berezhnoi D., Balafendieva I. Numerical modeling of composite reinforcement with concrete // Journal of Physics: Conference Series. 2019. P. 042046. DOI: 10.1088/1742-6596/1158/4/042046.
13. Achillides Z., Pilakoutas K. FE modelling of bond interaction of FRP bars to concrete // Structural Concrete. 2006. Vol. 7. P. 7–16.
14. Baena M., Torres L., Turon A., Barris C. Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test // Composites Part B-engineering. 2009. Vol. 40. P. 784–797.
15. Benmokrane B., Tighiouart B., Chaallal O. Bond strength and load distribution of composite GFRP reinforcing bars in concrete // Aci Materials Journal. 1996. Vol. 93. P. 254–259.
16. Okelo R., Yuan R. Bond Strength of Fiber Reinforced Polymer Rebars in Normal Strength Concrete // Journal of Composites for Construction. 2005. Vol. 9. P. 203–213.

17. Alavi-Fard M., Marzouk H. Bond behavior of high strength concrete under reversed pull-out cyclic loading // Canadian Journal of Civil Engineering. 2002. Vol. 29. P. 191–200.
18. Kim B., Lee J. Resistance of interfacial debonding failure of GFRP bars embedded in concrete reinforced with structural fibers under cycling loads // Composites Part B-engineering. 2019. Vol. 156. P. 201–211.
19. Gizdatullin A. R., Khozin V. G., Kuklin A. N., Khusnutdinov A. M. Features of testing and the nature of destruction of polymer-composite reinforcement // Engineering and construction journal. 2014. Iss. 3. P. 40–47. DOI: 10.5862/MCE.47.4.
20. Khozin V. G., Gizdatullin A. R. Compatibility of polymer-composite reinforcement with cement concrete in structures // Construction materials. 2017. Iss. 11. P. 30–38.