

УДК 691.175.3

Хозин В.Г. – доктор технических наук, профессор

E-mail: khozin@kgasu.ru

Пискунов А.А. – доктор технических наук, профессор

E-mail: a.piskunov52@mail.ru

Гиздатуллин А.Р. – аспирант

E-mail: antonchiks@mail.ru

Куклин А.Н. – аспирант

E-mail: labmost@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Сцепление полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном

Аннотация

Приведены результаты экспериментальных исследований сцепления цементного бетона различного класса с полимеркомпозитной арматурой (ПКА) стекло- и бальтопластиковой, имеющей разный тип поверхностного рельефа стержней, образуемого навивкой на них тонкого жгута, пропитанного связующим, или «опесчаниванием». Параллельно испытаны на вырыв из бетона образцы стальной арматуры периодического профиля А400 и гладкой А240. Установлена доминирующая роль адгезии цементного бетона к поверхности эпоксидного покрытия ПКА и незначительная – спиральной навивки и «опесчанивания».

Ключевые слова: полимеркомпозитная арматура, стальная арматура, прочность сцепления с бетоном, характер вырыва из бетона.

В последние годы, наряду с традиционной стальной арматурой, на строительном рынке все большее внимание привлекает полимеркомпозитная арматура (ПКА), изготовленная из базальтовых, стеклянных или углеродных волокон и полимерных связующих на основе эпоксидных и (реже) винил-эфирных смол. Арматурные стержни производятся методом пултрузии – протяжкой ровинга, пропитанного жидким связующим, через фильеру круглого сечения с одновременной обмоткой сформированного стержня по спирали тонким жгутом или покрытием кварцевым песком. Второй метод – нидлтрузия – бесфильерный, при котором формирование круглого стержня из собранных в пучок пропитанных прядей ровинга осуществляется винтовой обмоткой его двумя такими же прядями при непрерывной протяжке стержня с заданной скоростью. ПКА по структуре и свойствам относится к волокнистым высокоориентированным полимерным композиционным материалам (ПКМ), высокая прочность которых на растяжение обусловлена прочностью неорганических (силикатных, углеродных) параллельно ориентированных волокон, прочно связанных в монолит полимерной матрицей. Высокая адгезия и «податливость» последней обеспечивает их совместную работу под нагрузкой, воспринимает сдвигающие напряжения и при этом придает свойственные только органическим полимерам конструкционные недостатки: низкий модуль упругости, ползучесть при нагружении (обусловленную вынужденно-эластическими деформациями связующего), низкую длительную прочность, высокую чувствительность механических свойств к температуре и более высокий, чем у бетона и стали, коэффициент температурного расширения (сжатия), низкую теплостойкость.

Благодаря высокой прочности на растяжение (более чем в 3 раза превосходящей прочность стальной) и химической стойкости (не требующей защиты от коррозии) ПКА активно внедряется в строительный рынок России, однако отсутствие отечественной нормативной базы и достаточного опыта реального применения в несущих бетонных конструкциях сдерживает ее применение в последних. Единственное упоминание о ней имеется в действующих нормах в пп. 6.10 и 8.13 ГОСТ 31384-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии» [1]; СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции» [2] допускает применение композитной

арматуры. Однако, до сих пор отсутствуют методики расчета и проектирования бетонных конструкций, армированных ПКА, в которых бы учитывались ее низкие модуль упругости, теплостойкость и длительная прочность, обусловленные спецификой свойств полимерного связующего. Нужны широкие экспериментальные исследования механического поведения как самой арматуры при длительном нагружении (оценка длительной прочности, ползучести, релаксации напряжений) в нормальных условиях эксплуатации, а также при повышенных и циклических температурных воздействиях, так и бетонных конструкций, армированных ПКА. Необходимо создавать банк экспериментальных данных для расчета и проектирования конструкций и начать, очевидно, нужно с оценки сцепления ПКА с цементным бетоном, как первого условия их совместной работы.

К тому же, при армировании бетона ПКА следует учитывать ее ярко выраженную структурную анизотропность, а отсюда разную прочность при растяжении, сжатии, сдвиге. Указанный комплекс экспериментальных исследований от сцепления ПКА с бетоном до прочности, жесткости и трещиностойкости армированных ею конструкций необходим не только для конструкторов и проектировщиков. Эти данные нужны и самим производителям ПКА для совершенствовании ее технологии и оптимизации поверхностного профиля, разнообразие которого объясняется, с одной стороны, повторением периодического профиля стальной арматуры, с другой – иной, относительно простой, технологией его формирования (винтовой навивкой пропитанной нитью или тонким ровингом), с третьей – стремлением запатентовать технологические нюансы профилирования.

Ниже представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на определение прочности сцепления различных видов ПКА (с разным видом профилирования поверхности) при вырыве из цементного бетона разных классов по прочности.

В настоящее время для оценки сцепления арматуры с бетоном используется метод выдергивания стержней из бетонных кубов [3], либо балочный метод [4], по которому испытывают специальные балки на изгиб.

Определение прочности сцепления арматурных стержней с бетоном нами проводилось в соответствии с [3] по формуле:

$$\tau = \frac{F}{C_b \cdot l}, \quad (1)$$

где τ – среднее напряжение сцепления, F – растягивающая нагрузка, C_b – эквивалентная окружность стержня из ПКА, l – длина заделки.

Проведены испытания на вырыв из бетонных цилиндров образцов ПКА номинальным диаметром 8 мм по ТУ различных производителей (по пять образцов каждого типа (табл. 1). Ребристые профили различались одинарной или двухзаходной винтовой навивкой, пропитанной жгутом из стеклянных или базальтовых волокон. Кроме того, испытывались «опесчаненные» стержни (№ 5), шероховатая поверхность которых образована «втопленными» в поверхность стержня при формовании зернами кварцевого песка (подобно абразивной бумаге).

Кроме того, для оценки роли поверхностного профилирования (шероховатости) проводились испытания образцов после предварительного удаления навивки и песка с поверхности стержней ПКА.

Для сравнения испытывалась на вырыв стальная горячекатаная арматура Ø8 мм по ГОСТ 5781-82 [5]: периодического профиля класса А-400, гладкая класса А-240 и она же, покрытая эпоксидным связующим.

Для каждой серии испытаний изготавливались бетонные смеси класса В12.5; В22.5; В 35; В 40. Формование каждой серии образцов выполнялось в полиэтиленовых формах-цилиндрах Ø 110 мм высотой 100 мм. Стержни арматуры устанавливались вертикально по оси в формы вместе с укладкой бетонной смеси и ее последующим виброуплотнением. Контрольные испытания прочности бетона проводились в соответствии с ГОСТ 10180-90 [6].

Таблица 1

Параметры испытываемых образцов арматуры

№ арм.	Тип основного волокна	Тип профиля навивки	Диаметр норм., мм	Диаметр стержня факт., мм	Сечение стержня	Фото образцов
1	2	3	4	5	6	7
1	стекловолокно	одинарная навивка базальтовым волокном (угол 50°)	8,0	6,2-6,5		
2	базальтовое волокно	одинарная навивка базальтовым волокном с «обжатием» стержня (угол 55°)	8,0	7-8,6		
3	стекловолокно	двойная навивка стекловолокном (угол 45°)	7,0	6,2		
4	стекловолокно	одинарная навивка стекловолокном (угол 80°)	7,0	6,8-7,2		
5	базальтовое волокно	без обмотки (опесчанена)	8,0	8,0		
6	Сталь А 400	сталь периодического профиля	8,0	8,0		
7	Сталь А 240	без профиля (гладкая)	8,0	7,5		
8	Сталь А 240 + эпоксидное покрытие	без профиля (гладкая) с эпоксидным покрытием	8,0	7,5		

Механическое нагружение проводилось со скоростью движения захватов разрывной машины 20 мм/мин. Захват цилиндра с образцом осуществлялся с помощью стальной обоймы, закрепляемой на траверсе разрывной машины (рис. 1), другой конец стержня ПКА захватывался губками разрывной машины через медные прокладки.

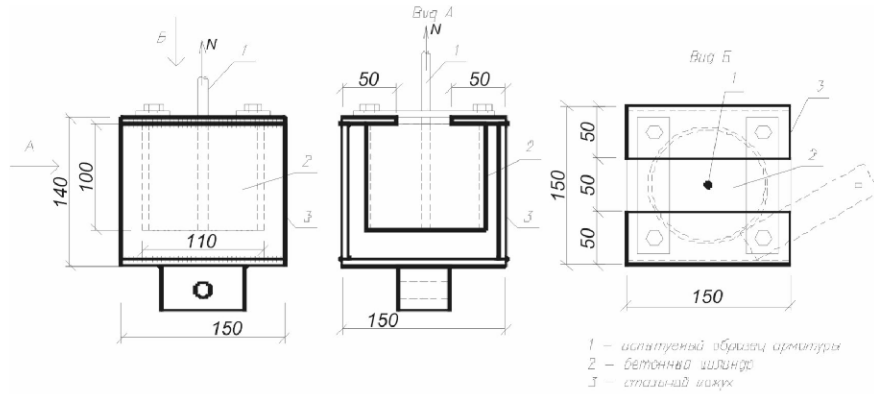


Рис. 1. Схема захвата испытуемого образца

Средние значения величины сцепления после обработки результатов для каждой партии из пяти образцов приведены в табл. 2, на рисунках 2, 3.

Таблица 2

Величина сцепления (τ , кгс/см²) арматурных стержней с бетоном различных классов

Класс бетона	Тип арматуры согласно табл. 1.							
	1 (АСП-8)	2 (АБП-8)	3 (АСП-8)	4 (АСП-8)	5 (АБП-8)	6 (А 400)	7 (А 240)	8 (А240+ эп)
В 12.5	63,3	61,6	68,4	50,5	52,4	59,1		
В 22.5	85,7	84,5	80,7	66,9	67,8	82,8		
В 22.5*	86,6	85,25	84,3	71,7	59,2		41,3	53,3
В 35	125,8	105,71	124,4	100,2	101,2	125,7		
В 35*	122,4	104,6	127,5	103,2	98,1		55,6	77,8
В 40	128,3	118,4	130,9	119,7	107,6	129,8		
В 40*	126,3	117,1	137,2	113,4	126,3		61,8	96,8

* Образцы ПКА без навивки и опесчанивания, стальная арматура А-240.

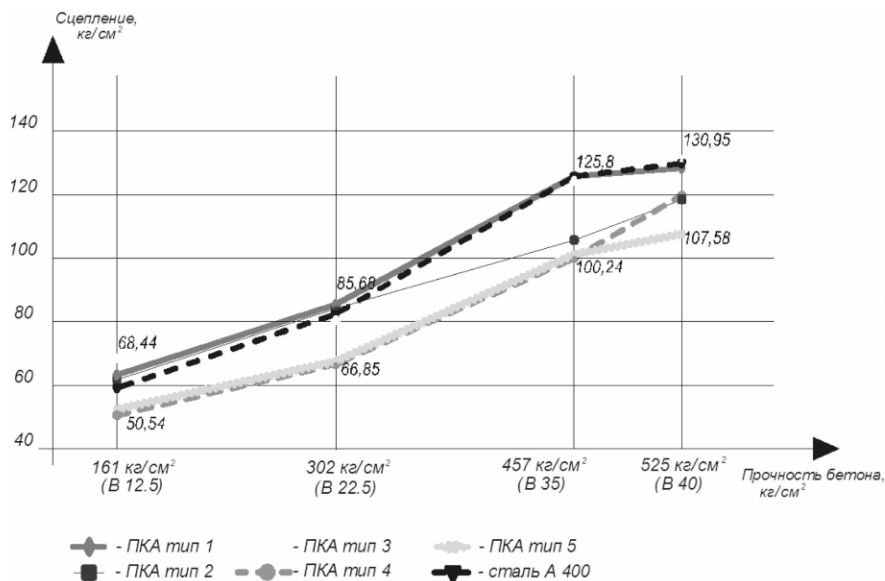


Рис. 2. Прочность сцепления различных типов ПКА и стали с бетоном различной прочности

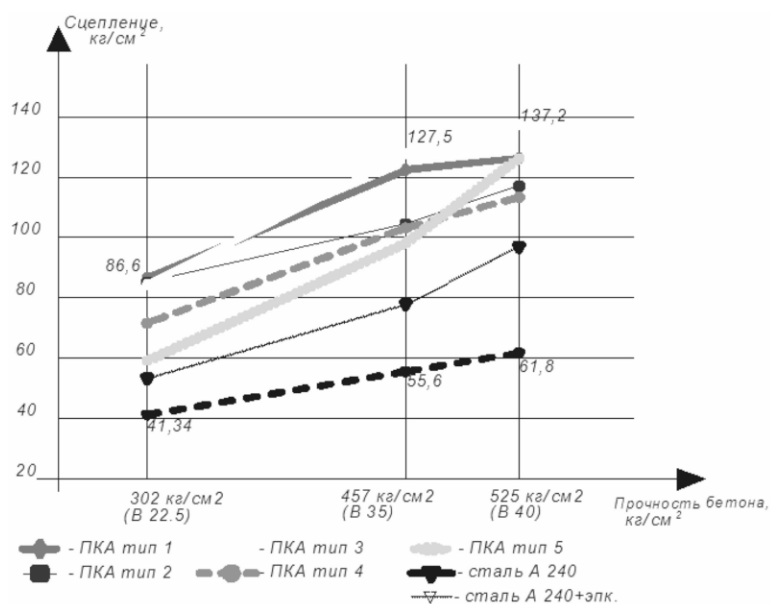


Рис. 3. Прочность сцепления образцов ПКА без навивки и опесчанивания с бетоном различной прочности

Установлен следующий характер разрушения при вырыве арматурных стержней из бетона:

- вырыв арматурных стержней всех типов (кроме типа № 8) из бетонов всех классов происходит по граничному с арматурой слою бетона, то есть носит когезионный характер и потому ограничивается прочностью бетона на сдвиг, возрастающей с увеличением его класса. Из характера разрушения бетона при вырыве арматурных стержней следует, что сцепление бетона с поверхностью ПКА и стали выше когезионной прочности бетона в граничной зоне;

- вырыв стержней ПКА с наклеенной на цилиндрический стержень винтовой навивкой (№ 1-4) происходит в результате ее сдвигового отрыва (среза) от «тела» стержня при испытании образцов бетона класса В 22.5 и выше, причем разрушение происходит в 2 стадии: вначале при максимальной нагрузке вырыва происходит деформационное смещение стержня с отслоением нижних витков навивки, происходящее ввиду недостаточной прочности их склейки со стержнем ПКА. Количество одновременно отслоившихся витков для различных типов ПКА различно, но их число возрастает с увеличением прочности бетона. На второй стадии при нагрузке 40-50 % от максимальной происходит «плавное» выдергивание стержня из бетонного цилиндра;

- вырыв стержней ПКА с предварительно удаленной навивкой происходит равномерно (с постоянной скоростью) после достижения определенной для каждого образца максимальной нагрузки. При этом усилие вырыва мало отличается от такового в стержнях с винтовой навивкой;

- вырыв стержней ПКА с навивкой (№ 1-4) из малопрочного бетона класса В 12.5 происходит равномерно без срыва навивки при достижении определенной нагрузки;

- в ходе исследований установлено, что образцы № 2 (с частично «втопленной» навивкой в стержень) выдергиваются из бетонного образца без разрушения навивки и ее отслоения от стержня. По характеру разрушения бетона при вырыве ПКА № 2 близка к стальной арматуре периодического профиля;

- из сравнения усилий вырыва ПКА № 1, 3, 4 следует, что уменьшение шага навивки и увеличение ее угла к оси стержня снижает усилие вырыва из бетона всех классов, т.к. адгезия цементного камня к «эпоксидной поверхности» стержня выше прочности на сдвиг навивки;

- при выдергивании из бетона опесчаненных образцов (тип № 5) разрушение происходит в зоне контакта: и по бетону, и по слою крупного песка на поверхности ПКА, вследствие среза его крупных зерен. Усилие вырыва стержней после удаления песчаной посыпки превосходит первоначальные у исходных образцов ПКА № 5;

- в результате испытаний образцов гладкой арматуры А-240, покрытой эпоксидным связующим (тип № 8), установлено, что величины ее сцепления с бетоном превышают значения сцепления стальной арматуры (тип № 7) при выдергивании из образцов аналогичного класса бетона на 30-50 %. Данный факт свидетельствует о приоритетной роли сцепления бетона с поверхностью эпоксидного полимера. Меньшие показатели сцепления у образцов № 8, по сравнению с образцами ПКА, обусловлены частичным отслоением эпоксидного покрытия от поверхности стального стержня в процессе вырыва из бетона.

Выводы:

1. Сцепление ПКА с бетоном обеспечивается за счет адгезии цементного камня с эпоксидным покрытием, а не механическим зацеплением витков в бетонной матрице, в отличие от профилированной металлической арматуры. Устройство винтового (периодического) профиля ПКА путем наклейки пропитанного связующим жгута из базальтовых и стеклянных волокон нецелесообразно, поскольку эта навивка срезается с поверхности стержня при вырыве, а адгезия бетона к эпоксидному покрытию превосходит когезионную прочность бетона и достаточна для анкеровки ПКА в нем.

2. При анализе результатов испытаний установлено, что более целесообразным является профилирование самого стержня ПКА (аналогично типу № 2) путем его «обжатия» тонким жгутом с шагом 1-2 диаметра стержня. Это увеличивает удельную площадь контакта с бетоном, улучшает условия совместной работы ПКА с бетоном под нагрузкой, что позволит полнее реализовать прочностные свойства ПКА при работе в несущей конструкции.

3. Для полной реализации прочностных свойств ПКА целесообразно ее использовать в высокопрочных бетонах класса В 40 и выше. Поскольку характер разрушения бетона при вырыве ПКА аналогичен таковому для стальной арматуры с периодическим профилем, то это позволяет при расчете величин анкеровки использовать методики, используемые для расчета анкеровки стальной арматуры периодического профиля.

Список литературы

1. ГОСТ 31384-2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. – М., 2008. – 44 с.
2. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М., 2004. – 53 с.
3. ACI 440.3R-04 Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures, 2004. – 40 p.
4. RILEM/CEB/FIP Recommendations RC5: Bond test for reinforcing steel, 1. Beam Test, 1978.
5. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. – М., 1994. – 14 с.
6. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М., 1991. – 31 с.
7. Семченко А.С., Мешков В.З. и др. Особенности сцепления с бетоном стержневой арматуры различных профилей. // БСТ Экспертиза, 2008, № 8. – 5 с.
8. Климов Ю.А., Солдатченко О.С., Орешкин Д.А. Экспериментальные исследования сцепления композитной неметаллической арматуры с бетоном. – Киев, 2010.

Khozin V.G. – doctor of technical science, professor

E-mail: khozin@kgasu.ru

Piskunov A.A. – doctor of technical science, professor

E-mail: a.piskunov52@mail.ru

Gizdatullin A.R. – post-graduate student

E-mail: antonchiks@mail.ru

Kuklin A.N. – post-graduate student

E-mail: labmost@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Adhesion fiber-reinforced polymer bars with cement concrete

Resume

The article contains results of the tests on the pull-out of various strength concrete with samples FRP bars. Were applied FRP samples from different manufacturers having different winding parameters and covered with sand. To compare the results of the test performed as pull-out samples of steel reinforcement of class A-400, A-240 (smooth), and the smooth, coated with epoxy. All tests were performed by pulling out samples of concrete cylinders.

Revealed an increase the parameters of the adhesion to concrete FRP bars by increasing its strength. Revealed the dominant role of adhesion cement concrete to the surface epoxy FRP and insignificant – spiral wound and covered with sand. Recommended type of profile, allowing more fully use the properties of FRP bars in concrete structures.

Established that it is more expedient profiling rod itself FRP (similar type number 2) by its «compression» of small-tow in steps 1,2 diameter rod. It increases the specific area of contact with the concrete, improves collaboration FRP with concrete under load, enabling it to fully realize the strength properties of the FRP at work in the structure.

Keywords: fiber-reinforced polymer bars, steel reinforcement, adhesion to concrete, the nature of the tear-out of the concrete.

References

1. GOST 31384-2008. Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. – M., 2008. – 44 p.
2. SNiP 52-01-2003. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing reinforcement. – M., 2004. – 53 p.
3. ACI 440.3R-04 Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures, 2004. – 40 p.
4. RILEM/CEB/FIP Recommendations RC5: Bond test for reinforcing steel, 1. Beam Test, 1978.
5. GOST 5781-82. Hot-rolled steel for reinforcement. Technical conditions. – M., 1994. – 14 p.
6. GOST 10180-90. Concrete. Methods for determining the strength of control samples. – M., 1991. – 31 p.
7. Semchenko A.S., Meshkov V.Z. etc. Features of adhesion to concrete reinforcement with different profiles. //BST Expertiza, 2008, № 8, – 5 p.
8. Klimov Y.A., Soldatchenko O.S., Oreshkin D.A. Experimental investigations adhesion non-metallic composite bars to concrete. – Kiev, 2010.