

Климов Ю.А., д.т.н., проф. (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев), **Солдатченко А.С., аспирант** (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев), **Орешкин Д.О., ООО Технологическая группа «Экипаж» г. Харьков.**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТНОЙ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ АРМАТУРЫ НА СРЕЗ

In the articles described experimental researches of strength of glass and basalt fiber reinforcement polymer armature on the shear action.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований прочности композитной неметаллической базальтопластиковой и стеклопластиковой арматуры на срез.

Постановка проблемы. В современной мировой строительной практике все более широкое применение находит композитная неметаллическая арматура, одним из основных преимуществ которой является более высокая коррозионная стойкость по сравнению с традиционной стальной арматурой.

Композитная неметаллическая арматура представляет собой основу из тонких волокон стекла, базальта или других материалов диаметром 14...16 мк, пропитанной связующей термореактивной смолой (пластиком). Композитная арматура производится методом пултрузии – протяжкой пропитанных связующим армирующих волокон через формообразующую фильеру или методом нидлтрузии – без использования фильеры. При этом периодический профиль поперечного сечения формируется путем вдавливания обмоточного жгута в несущий стержень, или путем спиральной обмотки уступами несущего стержня обмоточным жгутом. Временное сопротивление композитной арматуры, в зависимости от вида волокон основы, стеклянных либо базальтовых, составляет соответственно 600...800 МПа и 800...1200 МПа, модуль упругости – 40..55 ГПа и 60...70 ГПа, относительное удлинение после разрыва – 2,0 %, плотность – 2,03 т/м³.

В последние годы в Украине освоено промышленное производство композитной неметаллической стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры, для применения которой в строительстве необходимо проведение комплекса целенаправленных экспериментально-теоретических исследований механических характеристик, сцепления с бетоном, прочности, жесткости и трещиностойкости конструкций.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию прочности композитной арматуры на срез.

Анализ последних исследований. В современной мировой практике основным методом испытаний композитной неметаллической арматуры на срез является метод, так называемого двойного среза, по АСІ 440.3R-04 [1].

Испытания на срез по АСІ 440.3R-04 [1] производятся по специальной методике с применением соответствующей установки, в которой срезающее усилие прилагается к двум плоскостям поперечного сечения стержня. Предельные касательные напряжения (прочность композитной арматуры на срез) по результатам испытаний определяются по формуле:

$$\tau_u = \frac{P_s}{2A} \quad (1)$$

где

τ_u – предельные касательные напряжения при срезе, Н/мм²;

P_s – разрушающее срезывающее усилие, Н;

A – площадь поперечного сечения стержня, мм².

Цель и задачи исследований. Целью настоящих экспериментальных исследований являлось определение прочности на срез (предельных касательных напряжений) композитной неметаллической стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры на основании результатов испытаний по методу АСІ 440.3R-04 [1].

В качестве образцов для проведения испытаний были приняты стержни стеклопластиковой арматуры диаметром 10 мм, 12 мм и базальтопластиковой арматуры 8 мм, 10 мм и 12 мм произведенные методом пултрузии. Периодический профиль испытуемых стержней был сформирован сдавливанием обмоточного жгута в несущий стержень.

Общий вид установки для проведения испытаний по [1] приведен на рис.1. Установка состоит из держателя образца (1), одного верхнего (2) и двух нижних ножей (3). Держатель образца имеет размер 230 x 110 x 100 мм с продольной V-образной вырез для размещения образца композитной арматуры (4), и прямоугольный вырез для установки верхнего и нижних ножей.

Всего было испытано пять серий образцов. Первая серия (ІС) включала в себя стеклопластиковые стержни диаметром 10 мм, вторая (ІІС) - стеклопластиковые диаметром 12 мм, третья (ІІІБ) - базальтопластиковые диаметром 8 мм, четвертая (ІVБ) - базальтопластиковые диаметром 10 мм и пятая (VБ) - базальтопластиковые диаметром 12 мм. В каждую серию входили пять стержней длиной по 300 мм.

Нагружение осуществлялось сосредоточенной силой, приложенной к верхнему ножу установки (см. рис.1 и рис.2), усилием гидравлического пресса с электронной шкалой с точностью 1 кг. Нагружение производилось монотонно возрастающей нагрузкой до разрушения со скоростью 500 кг/мин для диаметра 8 мм, 700 кг/мин для диаметра 10 мм и 1000 кг/мин для диаметра 12 мм, что соответствовало регламентируемой в [1] скорости увеличения касательных напряжений 30-60 МПа/мин.

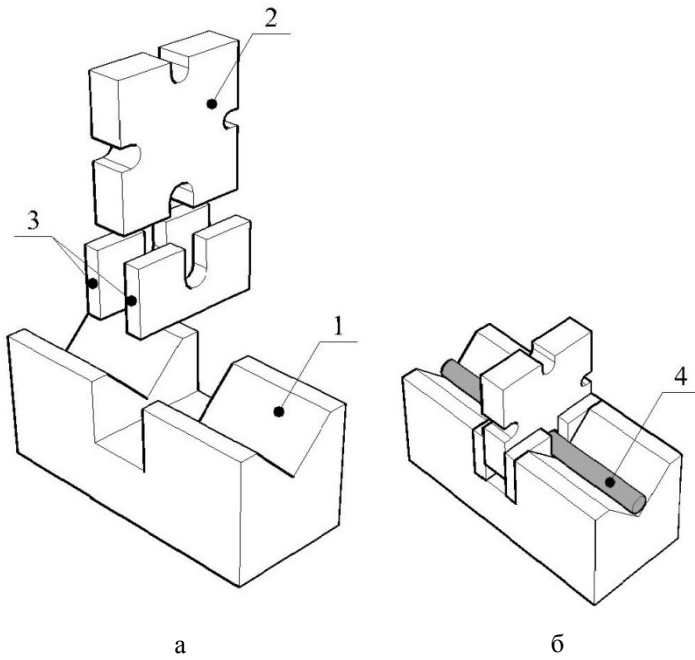


Рис.1 Общий вид установки для проведения испытаний поэлементно (а) и в сборе (б): 1 – держатель образцов; 2 – верхний нож; 3 – нижние ножи; 4 – испытуемый стержень композитной арматуры.

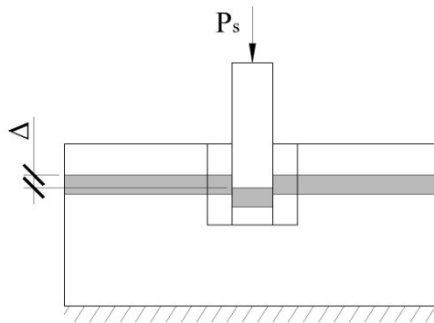


Рис.2 Схема испытаний образцов.

В процессе испытаний с помощью электронного датчика перемещений плит гидравлического пресса измерялись вертикальные перемещения стержня Δ (см. рис.3) с точностью 0,01 мм.

Результаты исследований. В процессе проведенных испытаний установлено, что зависимость касательные напряжения – вертикальные перемещения ($\tau - \Delta$) имеет линейный характер, а разрушение происходит хрупко и сопровождается срезом стержня по вертикальным плоскостям (см. рис.3).

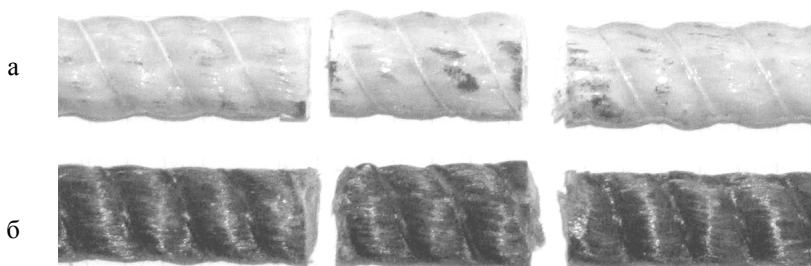


Рис.3 Общий вид образцов стеклопластиковой (а) и базальтопластиковой (б) арматуры после разрушения.

Основные результаты проведенных экспериментальных исследований прочности на срез композитной базальтопластиковой и стеклопластиковой арматуры приведены в табл. 1 и рис.4-7:

Таблица 1

Серия	Марка образца	d, мм	τ_u , Н/мм ²	$\tau_{u,cp}$, Н/мм ²	Δ_u , мм	$\Delta_{u,cp}$, мм	Δ_u/d	$\Delta_{u,cp}/d$
ИС	ИС-1	10	191,73	189,4	2,57	2,58	0,257	0,26
	ИС-2		204,22		2,68		0,268	
	ИС-3		172,37		2,48		0,248	
	ИС-4		182,36		2,51		0,251	
	ИС-5		196,10		2,64		0,264	
ПС	ПС-1	12	197,77	188,0	3,27	3,31	0,273	0,28
	ПС-2		187,36		3,19		0,266	
	ПС-3		178,68		3,31		0,276	
	ПС-4		189,96		3,32		0,277	
	ПС-5		186,06		3,48		0,290	

продолжение табл.1

Серия	Марка образца	d, мм	τ_u , Н/мм ²	$\tau_{u,ср}$, Н/мм ²	Δ , мм	$\Delta_{ср}$, мм	Δ/d	$\Delta_{ср}/d$
ШБ	ШБ-1	8	197,12	189,0	2,14	2,36	0,268	0,29
	ШБ-2		187,36		2,46		0,308	
	ШБ-3		186,62		2,47		0,309	
	ШБ-4		193,21		2,28		0,285	
	ШБ-5		180,53		2,43		0,304	
IVБ	IVБ-1	10	221,32	198,8	3,27	3,09	0,327	0,31
	IVБ-2		183,61		3,14		0,314	
	IVБ-3		182,99		2,99		0,299	
	IVБ-4		188,61		3,01		0,301	
	IVБ-5		217,33		3,02		0,302	
VB	VB-1	12	187,36	203,9	3,54	3,45	0,295	0,29
	VB-2		202,97		3,48		0,290	
	VB-3		221,45		3,37		0,281	
	VB-4		191,69		3,52		0,293	
	VB-5		215,98		3,35		0,279	

Обобщение, систематизация и анализ результатов проведенных испытаний (табл.1, рис.4-7) позволяют констатировать следующее.

Величина предельных касательных напряжений стеклопластиковой арматуры (см. табл.1,серии IC и IC) составляют 172,37...204,22 МПа, что соответствует 0,29...0,34 от временного сопротивления арматуры (σ_b). Средние значения предельных касательных напряжений для диаметров 10 и 12 мм имеют близкие значения, соответственно 189,4 МПа и 188,0 МПа (см. табл.1).

Значения вертикальных перемещений стеклопластиковой арматуры диаметром 10 мм при разрушении составляет 2,48...2,68 мм, соответствующее среднее значение - 2,58 мм, а среднее значение относительных деформаций сдвига ($\Delta_{u,ср}/d$) - 0,26 (см.табл.1). Аналогичные значения для стеклопластиковой арматуры диаметром 12 мм соответственно составляют 3,19...3,48 мм, 3,31 мм и 0,28 (см. табл.1).

Таким образом, экспериментально установлено, что величина предельных касательных напряжений и относительные деформации сдвига стеклопластикой арматуры не зависят от диаметра арматуры, а характер их деформирования подчиняется общим закономерностям (см. рис.4).

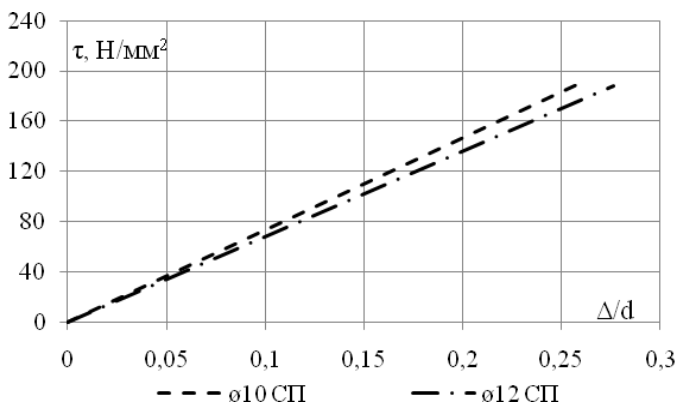


Рис.4 График зависимостей средние касательные напряжения – относительные вертикальные перемещения ($\tau - \Delta/d$) для стеклопластиковой арматуры диаметром 10, 12 мм.

Величина предельных касательных напряжений базальтопластиковой арматуры (см. табл.1, серии ШБ и IVБ) составляют 182,99...221,45 МПа, что соответствует 0,22...0,28 от временного сопротивления арматуры (σ_b). Средние значения предельных касательных напряжений для диаметров 8, 10 и 12 мм имеют близкие значения, соответственно 189,0 МПа, 198,8 МПа и 203,9 МПа (см. табл.1), а разброс между ними находится в пределах точности эксперимента.

Значения вертикальных перемещений базальтопластиковой арматуры диаметром 8 мм при разрушении составляет 2,14...2,47 мм, соответствующее среднее значение - 2,36 мм, а среднее значение относительных деформаций сдвига ($\Delta_{ср}/d$) - 0,29 (см.табл.1). Аналогичные значения для базальтопластиковой арматуры диаметром 10 и 12 мм соответственно составляют 2,99...3,14 мм, 3,09 мм, 0,31 и 3,37...3,54 мм, 3,45 мм, 0,29 (см. табл.1).

Таким образом, экспериментально установлено, что величина предельных касательных напряжений и относительные деформации сдвига базальтопластиковой арматуры не зависят от диаметра арматуры, а характер их деформирования подчиняется общим закономерностям (см. рис.5).

Кроме того, из результатов проведенных экспериментальных исследований следует, что при прочих равных условиях величина предельных касательных напряжений при срезе и относительных деформаций сдвига стеклопластиковой и базальтопластиковой имеют близкие значения, а характер их деформирования подчиняется общим закономерностям (см. рис.6, 7).

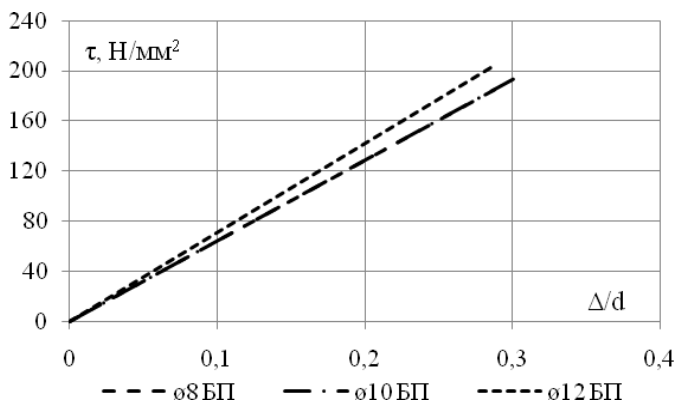


Рис.5 График зависимостей средние касательные напряжения – относительные вертикальные перемещения ($\tau - \Delta/d$) для базальтопластиковой арматуры диаметром 8, 10 и 12 мм.

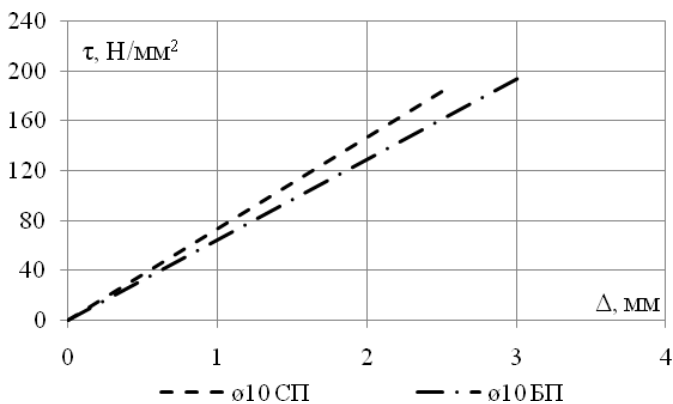


Рис.6 Графики сопоставления зависимостей средние касательные напряжения – вертикальные перемещения ($\tau - \Delta$) для стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры диаметром 10 мм.

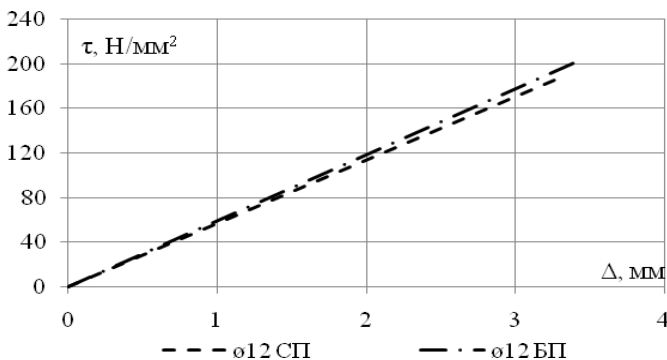


Рис.7 Графики сопоставления зависимостей средние касательные напряжения – вертикальные перемещения ($\tau - \Delta$) для стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры диаметром 12 мм.

Выводы.

1. Для применения композитной неметаллической стеклопластиковой и базальтопластиковой арматуры в Украине необходимо проведение целенаправленных экспериментально-теоретических исследований механических характеристик, сцепления с бетоном, прочности, жесткости и трещиностойкости конструкций.

2. В результате проведенных экспериментальных исследований прочности композитной арматуры на срез установлено, что зависимость касательные напряжения – вертикальные перемещения ($\tau - \Delta$) имеет линейный (рис.4-5), разрушение - хрупкий (рис. рис.3).

3. Величина предельных касательных напряжений стеклопластикой арматуры не зависит от диаметра и составляет порядка 190 МПа, что соответствует 0,29...0,34 от временного сопротивления арматуры (σ_b).

4. Величина предельных касательных напряжений базальтопластиковой арматуры не зависит от диаметра и составляет порядка 190...200 МПа, что соответствует 0,22...0,28 от временного сопротивления арматуры (σ_b).

5. При прочих равных условиях величина предельных касательных напряжений при срезе и относительных деформаций сдвига стеклопластиковой и базальтопластиковой имеют близкие значения, а характер их деформирования подчиняется общи закономерностям (см. рис.6, 7).

6. Результаты проведенных исследований могут быть применены при расчете конструкций со стеклопластиковой и базальтопластиковой арматурой на действие поперечной силы при оценке прочности арматуры в зоне пересечения критической наклонной трещины.

1. ACI 440.3R-04 Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures. – June 2004.