

Ощепков М.Ю.

(ОАО «Полоцк-Стекловолокно»)

Шилько С.В., Дробыш Т.В.

(Институт механики металлополимерных систем
имени В.А. Белого НАН Беларуси)

ПОЛИМЕРНЫЕ МЕТАЛЛОСТЕКЛОКОМПОЗИТЫ

Повышение прочности и модуля упругости конструкционных стеклопластиков посредством введения в структуру материала высокомодульного армирующего наполнителя представляет важную практическую задачу. Наиболее активно изучаются однонаправленные углестеклопластики, механические характеристики которых исследованы во всех объёмных соотношениях стеклянного и углеродного волокна. При небольшом (до 10% масс.) содержании углеродных волокон значение модуля упругости примерно соответствует найденному по правилу смесей. Коллективный эффект гибридного армирования, обусловленный перераспределением растягивающих напряжений в процессе совместного деформирования углеродных и стекловолокон, позволяет повысить модуль стеклопластиковой арматуры (обычно не превышающий 55 ГПа) на 40-50%. В работе [1] изучено влияние схемы гибридного армирования на механические характеристики однонаправленного композита и показано, что вследствие «сдвигового запаздывания» эффективность упрочнения зависит не только от свойств и объёмного содержания углеродного волокна, но и от его расположения в стеклопластиковом прутке.

Альтернативой дорогостоящему углеродному волокну в составе гибридного наполнителя является сталь. Тонкая стальная проволока может вводиться в стеклопластиковый прутки на обычных линиях для производства композитной арматуры. Получаемые материалы подобны углестеклопластикам, но имеют две особенности (помимо плотности, диэлектрических свойств и т.д.), обусловленные тем, что диаметр применяемой стальной проволоки на 1-2 порядка больше, чем у филаментов. Во-первых, при равном объёмном содержании углеродного и стального наполнителей, напряжения в адгезионном контакте проволоки и полимера будут на порядок выше, чем на границе волокна и полимера. Во-вторых, поскольку металлополимерная арматура включает не более нескольких десятков проволок, ее свойства будут чувствительны не только к объёмному содержанию металла, но и к числу проволок.

В [2] выполнено сравнение показателей гибридной арматуры, содержащей стальные прутки различного диаметра либо различное

число проволок диаметром 2 мм (рис. 1а). Группа диаграмм растяжения 1 на рис. 1б соответствует контрольным образцам стеклопластиковой арматуры диаметром 13 мм, а диаграммы 2-5 – образцам металлостеклопластиковой арматуры того же диаметра. Число проволок составляло 4, 13, 23 и 29, а объёмное содержание металла – 9,8%, 31,8%, 57% и 70,3% соответственно. Даже сравнительно небольшая добавка стали обеспечила увеличение модуля упругости материала с 50 до 77 ГПа (кривая 2), а при объёмном содержании проволоки около 30% значение модуля достигло 95 ГПа (кривая 3).

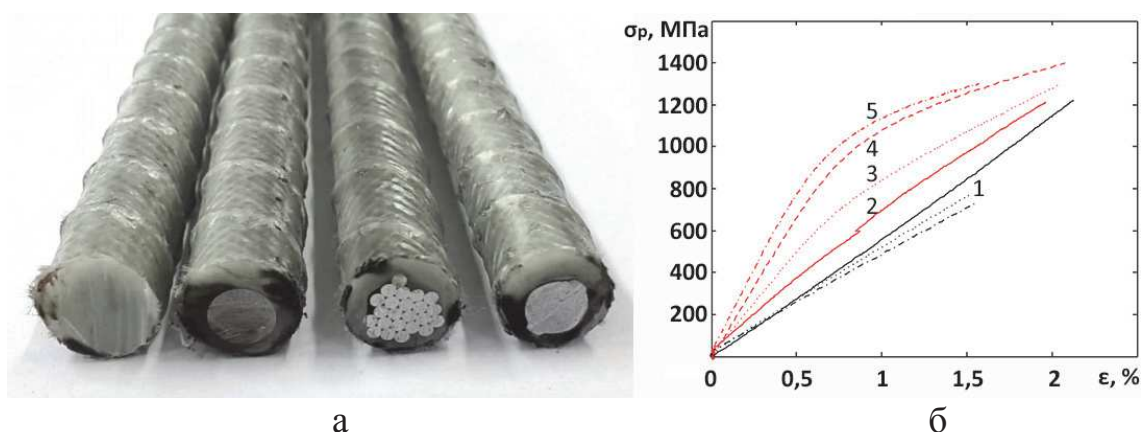


Рисунок 1 – Фото образцов (а) и диаграммы растяжения гибридной арматуры (б) по данным [2]

Для экспериментальной оценки влияния прочности сцепления компонентов на свойства металлостеклопластика в ОАО «Полоцк-Стекловолокно» были изготовлены лабораторные образцы на основе выпускаемого стекловолокна линейной массой 2400 и 1200 текс, проволоки РМЛ-2 диаметром 0,4 мм производства БМЗ и эпоксидных связующих, обладающих различной адгезией к указанным армирующим материалам. Механические испытания на статическое растяжение со скоростью 5 мм/мин проводились в ИММС НАН Беларуси на универсальной машине Instron 5567. Проволока РМЛ-2, испытанная отдельно на машине Zwick 2,5 kN, показала модуль упругости 200 ГПа и разрывное усилие около 330 Н, что соответствует паспортному значению. Модуль упругости образцов определялся с применением экстензометра в диапазоне относительного удлинения 0,3...1,5%.

В данных опытах разрыв проволоки на рабочем участке произошёл только у стержней с проволокой, полностью покрытой стеклопластиком. Результаты показали сильное влияние прочности сцепления компонентов на характер разрушения материала (рис. 2а). Для применения кордовой проволоки в гибридных композитах необходимо

обеспечить высокую адгезию связующего к металлу и выполнить оптимизацию структуры материала [3]. Подобные металлостеклопластиковые прутки могут применяться для бронирования волоконно-оптических кабелей с целью снижения их массы при обеспечении высокой стойкости к сосредоточенным нагрузкам и эффективной защиты от грызунов [4]. Образцы кабельных прутков диаметром 2 мм со стальной проволокой в оплётке и в стержне изготовлены в ОАО «Полоцк-Стекловолокно» (рис. 2б).

Для изучения статической и ударной прочности, энергопоглощающих свойств металлостеклопластиковых ламинатов в ОАО «Полоцк-Стекловолокно» были изготовлены образцы на базе 2 и 4 слоёв стеклоткани поверхностной массой 600 г/м², каждая нить которой содержит нержавеющую стальную проволоку диаметром 0,1 мм (рис. 3).

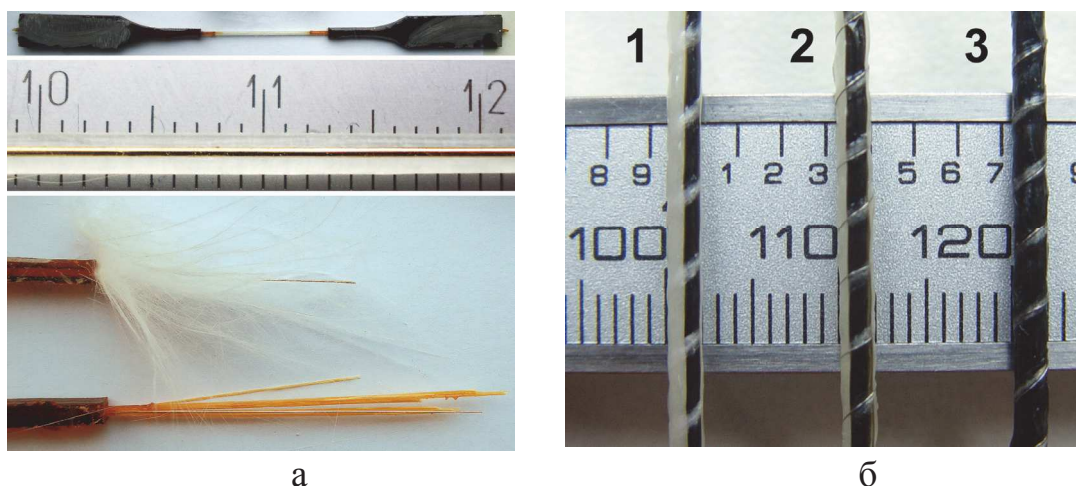


Рисунок 2 - Образец гибридного композита и характер разрушения металлостеклопластиков (а), кабельные прутки (б)

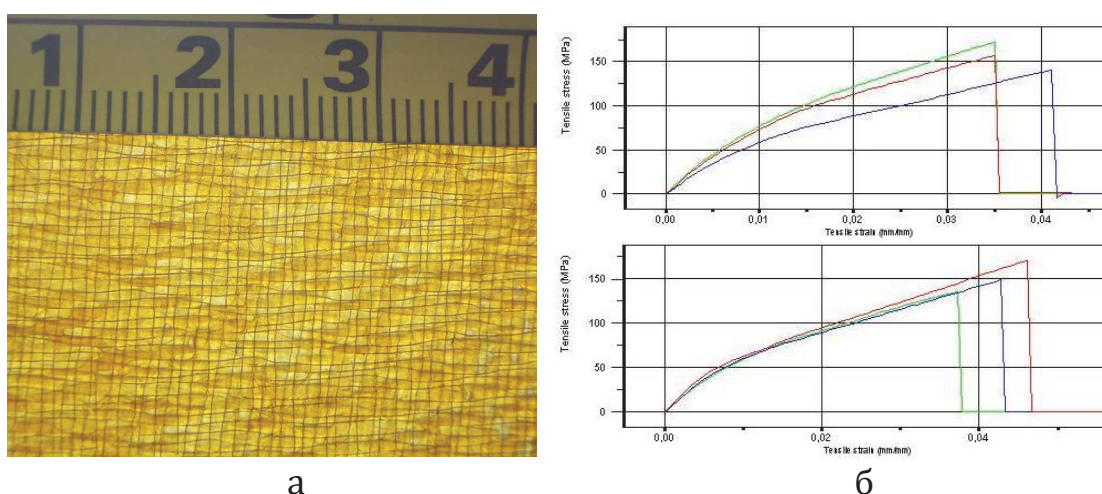


Рисунок 3 - Металлостеклопластик с нержавеющей проволокой диаметром 0,1 мм (а) и диаграммы растяжения образцов (б)

Полимерные композиты на базе стеклоткани с добавкой тонкой металлической проволоки могут служить для создания лёгких радионепрозрачных и радиопоглощающих оболочек, в противообледенительных системах, для молниезащиты самолётов и лопастей ветрогенераторов [5]. В ИММС НАН Беларуси ведутся испытания данного материала для изучения перспективности его применения в транспортном машиностроении, в особенности для создания демпфирующих и энергопоглощающих элементов автомобилей.

Литература

1. Ильин, Д.А. Композитная арматура на основе стеклянных и углеродных волокон для бетонных конструкций. Дисс... к.т.н., М.: Национальный иссл. Московский гос. стр. ун-т, 2017. – 141 с.
2. Seo, D.-W. Experimental Investigation for Tensile Performance of GFRP-Steel Hybridized Rebar / D.-W. Seo, K.-T. Park, Y.-J. You, S.-Y. Lee // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2016. – 12 p.
3. Ashchepkau M.Yu., Shil'ko S.V., Drobysh T.V., Choe H. Tensile Fracture Specificity of Unidirectional Metal-Polymer Glass-Fiber Composites with Cord Wire // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2020. – № 3. – С. 55–62
4. Ларин, Ю.Т. Испытание оптического кабеля на стойкость к воздействию грызунов // *Фотон-экспресс*. – 2008. – №3(67). – С. 10-16.
5. Nicolais, L., Meo, M., Milella, E. *Composite Materials: A Vision for the Future* / Springer Nature. 2011. 221 p.

УДК 546.271

Гудыма Т.С., Крутский Ю.Л., Баннов А.Г.

(Новосибирский государственный технический университет)

Вишневский К.В.

(Белорусский государственный технологический университет)

МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЕРАМИКИ В СИСТЕМАХ

B_4C-ZrB_2 , B_4C-CrB_2

Компактные материалы на основе карбида бора могут быть перспективны для множества применений, например, для изготовления износостойких деталей, эксплуатируемых при высоких температурах. Однако, получение плотной керамики из данного соединения с повышенным значением трещиностойкости весьма затруднительно. Использование композиций B_4C-ZrB_2 , B_4C-CrB_2 позволяет наряду с сохранением высоких эксплуатационных характеристик повысить