

Исследование основных характеристик органокомпозитов, применяемых для баллистической защиты

Investigation of the main characteristics of organocomposites used for ballistic protection

T.V. MOROZOVA^{1,2}, E.V. КУПРИЯНОВА^{1,2}, B.C. ОСИПЧИК², К.А. ЯКОВЛЕВА²

T.V. MOROZOVA^{1,2}, E. V. KUPRIYANOVA^{1,2}, V. S. OSIPCHIK², K. A. YAKOVLEVA²

¹ АО «ЦНИИСМ», г. Хотьково Московской области

² Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва

¹ Central Research Institute of Special Engineering JSC, Hot'kovo, Moscow region

² Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev, Moscow

morozova-tv@mail.ru

Представлены результаты исследований основных характеристик баллистических органокомпозитов с применением в качестве армирующего наполнителя арамидных волокон третьего поколения Русар-С различной текстильной структуры. Определены их физико-механические показатели, а также проведена оценка противоосколочной стойкости данных материалов. С применением новых волокон в композитных бронезащитных изделиях удалось повысить их противоосколочную стойкость на 11%.

Ключевые слова: арамидные волокна, композит, Русар-С, средства бронезащиты

The results of studies of the main characteristics of ballistic organocomposites with the use of aramid fibers of the third generation Rusar-S of various textile structures as a reinforcing filler are presented. Their physical and mechanical properties were determined, and an assessment of the splinter resistance of these materials was carried out. Use of new fibers in composite armored products enables to increase their anti-splinter resistance by 11%.

Keywords: aramid fibers, composite, Rusar-S, means of armor protection

DOI: 10.35164/0554-2901-2021-5-6-27-28

Введение

Арамидные волокна отличаются высокими прочностными характеристиками и низким весом. Плотность волокон составляет 1,44 г/см³. Это на 20% меньше, чем у углеродного волокна, и на 40% меньше, чем у стекловолокна. При этом их разрывная прочность находится в пределах от 280 до 550 кгс/мм².

Наибольшее распространение в мире получили арамидные волокна Кевлар и Тварон. Они имеют относительную прочность в диапазоне 110–140 сН/текс и модуль 120–145 ГПа. Российские волокна Армос и Руслан превосходят зарубежные аналоги и показывают впечатляющие механические свойства: прочность при разрыве 190–240 сН/текс и 230–260 сН/текс соответственно, модуль упругости 140 ГПа. Волокна третьего поколения Русар-С, разработанные в 2003 году, обладают самой большой прочностью при растяжении (до 300 сН/текс) и самым большим модулем упругости (160 ГПа). Это обусловлено технологией их производства – сухо-мокрым формованием, за счет которого монопить имеет менее дефектную оболочку и более плотное ядро.

До недавнего времени волокна Русар-С применялись в намоточных органопластиках в ракетно-космической технике при создании оболочек высокого давления. Композиционные материалы на основе данных волокон имеют самые высокие механические показатели в мире [1]. В средствах же бронезащиты нити Русар-С до 2019 года не применялись и еще мало изучены. Однако необходимость в их использовании постоянно растет: идет работа над созданием более совершенных структур с высокими прочностными и защитными характеристиками и малым весом.

На основе новых волокон были изготовлены и исследованы текстильные материалы, на которых получены лучшие результаты защитных и упруго-прочностных характеристик [2, 3].

В данной работе проведены исследования композитных материалов на тканевой арамидной основе и полиуретановом связующем

холодного отверждения. В качестве наполнителя использованы различные текстильные структуры из нитей Русар-С линейной плотностью 58,8 текс, в том числе некрученых. Проведено сравнение с серийно выпускаемыми материалами из нитей Руслан.

Экспериментальная часть

Для исследований физико-механических и баллистических характеристик органопластиков были изготовлены композитные образцы по технологии холодного отверждения методом прессования. Армирующим материалом выступали ткани саржевого переплетения – наиболее эффективные с точки зрения адгезии поверхности слоев и технологичности при раскрое и пропитке связующим. Кроме того, такая текстильная текстура в совокупности с некручеными нитями позволяет свести к минимуму количество волоконных перегибов и изломов, располагая их в наиболее распрямленном виде, что, в свою очередь, приводит к снижению слабых зон в композитном материале при высокоскоростном ударном воздействии (рис. 1). Суммарная поверхностная плотность наполнителя выбиралась из расчета 4 кг/м².

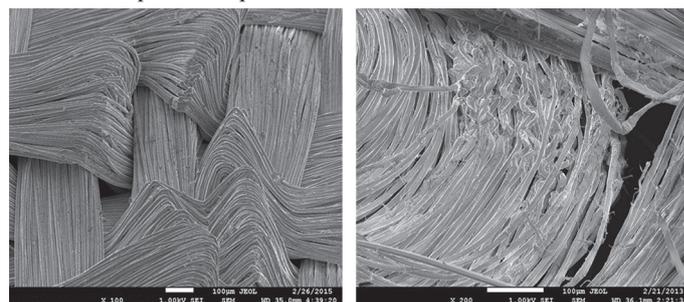


Рис. 1. Микрофотографии арамидной ткани после высокоскоростного ударного воздействия. Видна инициация разрушения волокон в местах перегибов нитей.

Выбор матрицы основан на исследованиях, проведенных Зайцевой Л.В. [4]. Полиуретановое эластичное связующее (форполимер уретановый СКУ-ПФЛ-100, смола ЭД-20, диамет Х, ацетон) используется в серийных органокерамических изделиях, изготавливаемых методом холодного формования, и обладает хорошей адгезией и высокими противоосколочными характеристиками. Режим отверждения: прессование при удельном давлении – 3,5 кг/см² в течение 72 часов при комнатной температуре, содержание связующего – 30–35%.

Физико-механические характеристики композитов определяли по стандартным методикам: ГОСТ 25.601, ГОСТ 25.602, ГОСТ 25.604, ГОСТ 15139. Противоосколочную стойкость определяли по ГОСТ Р 55623.

Результаты и их обсуждение

Разрушение органопластиков при воздействии высокоскоростных поражающих элементов по мере их проникания происходит, вероятно, в несколько стадий: первоначально композит подвергается сжатию, затем к нему добавляется изгибающая нагрузка, и в завершение процесса – растяжение до разрыва. Все составляющие данного процесса исследованы на элементарных образцах, результаты проведенных испытаний представлены на диаграммах (рис. 2, 3).

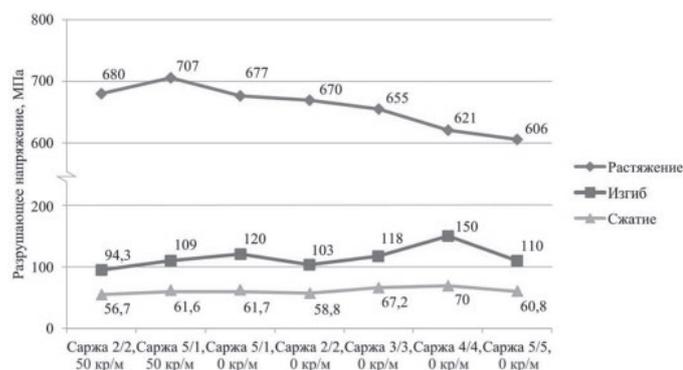


Рис. 2. Зависимость разрушающего напряжения композита от текстильной структуры армирующего наполнителя.

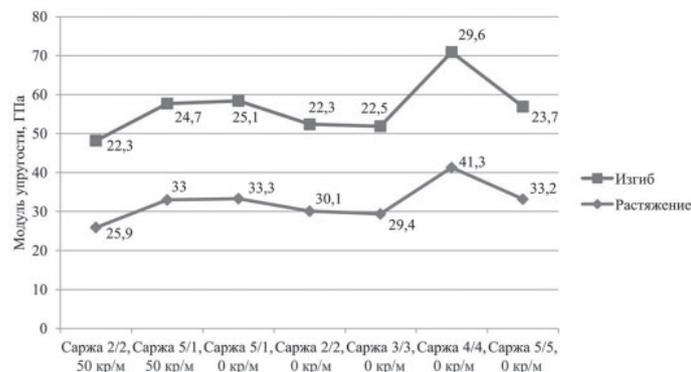


Рис. 3. Зависимость модуля упругости композита от текстильной структуры армирующего наполнителя.

На рис. 4 представлены результаты определения основной характеристики бронезащитных органопластиков – противоосколочной стойкости – скорости 50%-ного непробития образца при воздействии имитатора осколочного – стального шарика диаметром 6,3 мм и массой 1,05 г.

Несмотря на то, что показатели разрушающего напряжения при растяжении композитов на основе некрученых нитей Русар-С имеют пониженные значения, главная характеристика их защитных свойств – противоосколочная стойкость – имеет преимущество до 11% над аналогичными материалами, изготовленными с применением крученых нитей. Объясняется это тем, что на работу материала оказывают влияние многие факторы в совокупности. Разрушающие напряжения при изгибе и сжатии выше в образцах, произведенных на основе распрямленных некрученых волокон. Кроме того, в случае применения в органокompозитах тканей, имеющих протяженные системы перекрытия нитей, их заполнение в общей структуре материала увеличивается, снижается количество пор, и тем самым повышается прилегание слоев друг к другу. Данное обстоятельство подтверждается результатами испытаний по определению плотности композитных образцов (рис. 5).

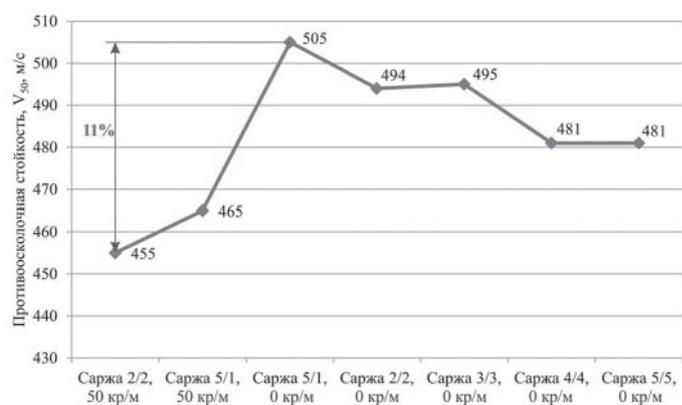


Рис. 4. Противоосколочная стойкость композитных защитных структур на основе тканей различных переплетений.

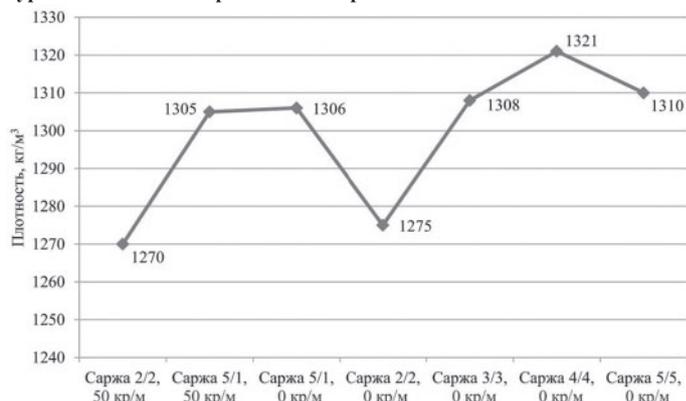


Рис. 5. Зависимость плотности композита от текстильной структуры армирующего наполнителя.

Из рис. 5 видно, что плотность органопластиков возрастает с увеличением объемного содержания наполнителя. Поскольку плотность арамидных волокон Русар-С составляет 1450 кг/м³, а плотность полиуретанового связующего – 1200 кг/м³, очевидно, что в образцах на основе наиболее распрямленных волокон их содержание выше за счет более плотного прилегания друг к другу и, соответственно, уменьшения количества связующего, что положительно сказывается на бронезащитных свойствах композита.

Выводы

Композиты на основе некрученых нитей имеют пониженные показатели прочности при растяжении за счет исходной прочности составляющих их нитей. Однако, имея более упорядоченную структуру, более плотное прилегание слоев друг к другу, особенно в образцах с удлиненными перекрытиями систем нитей, и, как следствие – отсутствие пор, нежелательных перегибов волокон, повышение адгезии, органопластики на основе волокон Русар-С показали увеличение основного показателя бронезащитных свойств – противоосколочной стойкости – до 11% по сравнению с аналогичными материалами на основе скрученых нитей.

Литература

- Соколов В.В., Гусев С.А., Малинин С.А., Соколова А.П., Тихонов И.В., Щетинин В.М., Черных Т.Е., Шиянова Л.Б. Исследование эксплуатационных характеристик намоточных органопластиков на основе волокон Русар-С и Русар-НТ в интересах создания оболочечных конструкций высокого давления // Хим. технол. 2018. 19. №4. С. 146–154.
- Морозова Т.В., Дворцева А.М., Куприянова Е.В., Осипчик В.С. Исследование перспективных арамидных волокон Русар-С в средствах индивидуальной бронезащиты // Успехи в химии и химической технологии. Том XXXIII. 2019. №6. С. 65–67.
- Морозова Т.В., Харченко Е.Ф., Куприянова Е.В. Исследование свойств арамидных волокон, полученных технологией сухо-мокрого формования // Вестник технологического университета. 2020. Т.23. №9. С.19–23.
- Зайцева Л.В., Харченко Е.Ф. Роль связующих в эффективной композитной подложке органокерамической брони // Тезисы докладов XII Международной научно-практической конференции «Новейшие тенденции в области конструирования и применения баллистических материалов и средств защиты». – Москва, 2012. С. 47–49.