

Использование АР амидных волокон для увеличения прочности углепластика при сдвиге вдоль слоев

к ф.м.н. Михеев П.В., к.т.н. Орлов М.А., Малышев А.Н., д.т.н. проф. Шаталов Р.Л.,
к.т.н. доц. Верхов Е.Ю.

МГТУ им. Баумана, ЗАО "Тема-М", Университет машиностроения
8 (495) 223-05-23 kiod@mami.ru

Аннотация. В данной работе экспериментально проверена возможность увеличения сдвиговых свойств поликомпозиционных материалов (ПКМ) при армировании в поперечном направлении. Для увеличения прочности при сдвиге были использованы арамидные нити малого текса. Плоские плиты углепластика изготавливались методом вакуумной инфузии связующего. Нити тонкого текса при прошивке не нарушают структуру ПКМ, кроме того использование нитей ПФТА вместо ПАБИ экономически выгодно. Отработана методика прошивки слоев углеродной ткани арамидной нитью и последующей инфузионной пропитки сухого пакета. Показано, что прошивка приводит к увеличению сдвиговой прочности высокопрочного слоистого углепластика.

Ключевые слова: углепластик, прошивка, арамид, вакуумная инфузия, прочность при сдвиге, углеродная ткань.

Современные композиционные материалы обладают рекордными прочностью и жесткостью при растяжении в направлении волокон, но очень низкими свойствами при сдвиге. Этот факт осложняет внедрение в современную промышленность [4].

Давно существовали предположения, что объединение слоев в поперечном направлении путем создания 3D структуры может повысить сдвиговую прочность [1, 2].

Однако создание трехмерных структур из высокопрочных волокон требует больших затрат ручного труда [5]. В случае тонкостенных, до 5 мм, конструкций можно использовать прошивку слоев. С другой стороны, при создании больших тонкостенных конструкций для средств транспорта используются препреговые технологии с последующим отверждением в автоклаве, что делает прошивку практически неосуществимой.

Появление технологий пропитки сухого пакета связующим дает возможность осуществить его прошивку до пропитки. В работе [3] приведены положительные результаты влияния арамидными волокнами ПАБИ на прочность углепластика после удара.

Ранее были сделаны попытки прошивать слои высокопрочных волокон полиамидным и капроновыми нитями удобными для текстильной переработки, но обладающих низкой прочностью и модулем упругости.

В данной работе для прошивки слоев использованы высокопрочные арамидные волокна обладающие высокой прочностью и жесткостью. Для того чтобы снизить влияние прошивки на материал, использованы нити ПФТА (Армалон) низкого текса.

Эксперимент

Объектом исследования данной работы являлись две группы плоских образцов. Образцы изготовлены методом вакуумной инфузии на основе однонаправленной углеродной ткани SAATITEXINDUSTRIAUC 350 (16 слоев) и низковязкого эпоксидного компаунда ЭТАЛ-ИНЖЕКТ-SL/Мпо ТУ 2257-3570-18826195-03. Режим отверждения связующего соответствовал режиму, предусмотренному ТУ 2257-3570-18826195-03, а именно: 24 часа при температуре 23 ± 2 °С и 4 часа при температуре 75 ± 2 °С. Образцы первого типа – исходный материал; образцы второго типа – с прошивкой арамидной нитью).

При изготовлении многослойной пресс-формы из углеродной ткани использовалась укладка с прошивкой. Данная пресс-форма была выполнена на промышленной швейной машине JUKILZ-391(Япония). Пакет состоял из 16 слоев материала, выкроенных из однонаправленной углеродной ткани SaatiUC350 под углом 0.

Для прошивки использовалась высокопрочная и высокомодульная нить Армалон производства РФ. Так как пакет состоит из большого количества слоев (общая толщина пакета 6 мм), дополнительно использовалась водорастворимая подложка, которая улучшила качество строчки и предотвратила сдвиг слоев. Параметры строчки указывались в техническом задании и составляли: длина стежка 4 мм, расстояние между строчками 4 мм. Расстояние между строчками соблюдалось за счет нанесения на водорастворимую подложку линий прошивки.

Форма и размеры образцов для механических испытаний определялись ОСТ190199-75 «Материалы полимерные композиционные. Метод определения прочности при сдвиге методом испытания на изгиб» и приведены далее. Данный типоразмер образцов и методика испытаний также соответствует стандарту ISO 14130.

Нить Армалон, использованная для прошивки образцов была исследована для уточнения ее механических свойств при растяжении. Разрушающая нагрузка – 1,6 кг (вариация, 16%). Прочность 2888 МПа (вариация 2,16%). Модуль упругости 127,57 ГПа (вариация 2,34%). Предельная деформация – 2,61% (вариация 1,84%). Пример диаграммы деформирования арамидной нити приведен на рисунке 1.

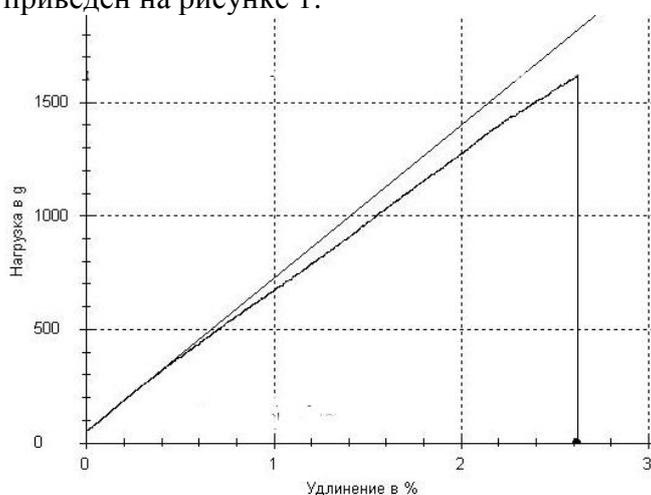


Рисунок 1. Диаграмма деформирования нити Армалон
Испытание образцов

Объекты испытаний непосредственно перед проведением испытаний проходили кондиционирование не менее чем в течение 16 часов при стандартной атмосфере 23/50 в соответствии с ГОСТ 12423-66 «Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб)».

Испытания проводились в условиях стандартной испытательной атмосферы 23/50 по ГОСТ 12423-66 «Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб)» на испытательной машине, тип Zwick / RoellZ100 TEW (Фирма "Zwick GmbH & Co. KG", Германия).

До начала нагружения (снятия кривой деформирования) образцы подвергались преднагрузке в размере 10 Н, что предусмотрено методикой проведения испытаний. Скорость нагружения образцов в процессе испытаний была постоянной и составляла 2 мм/мин. Ширина пролета между опорами при трехточечном изгибе составляла 30 мм. Радиус опор был равен 2 мм, а радиус нажимного пуансона – 5 мм.

Анализ данных

В результате проведения механических испытаний по определению прочности при сдвиге методом статического изгиба короткобалочных образцов углепластика двух различных серий. Диаграммы изгиба изготовленных образцов различных серий представлены на рисунке 2 (непрошитые образцы) и рисунке 3 (прошитые образцы). На рисунке 4 показано фото образца после испытаний.

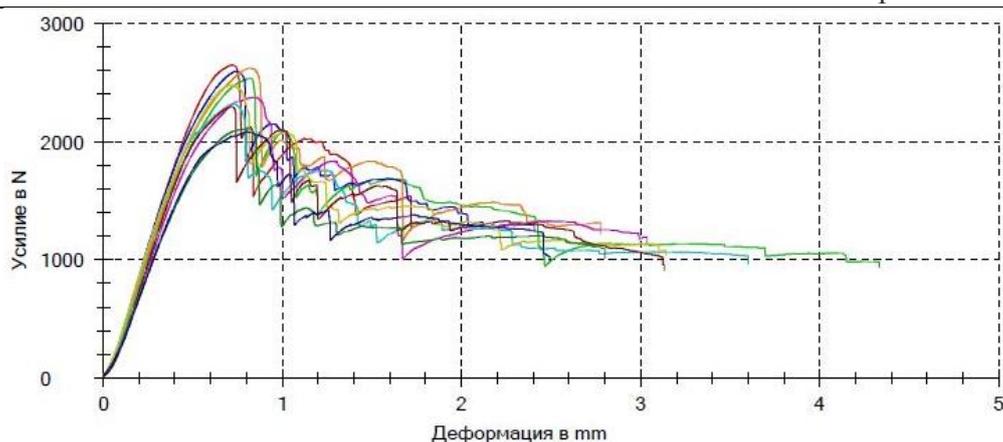


Рисунок 2. Диаграмма изгиба без прошивки

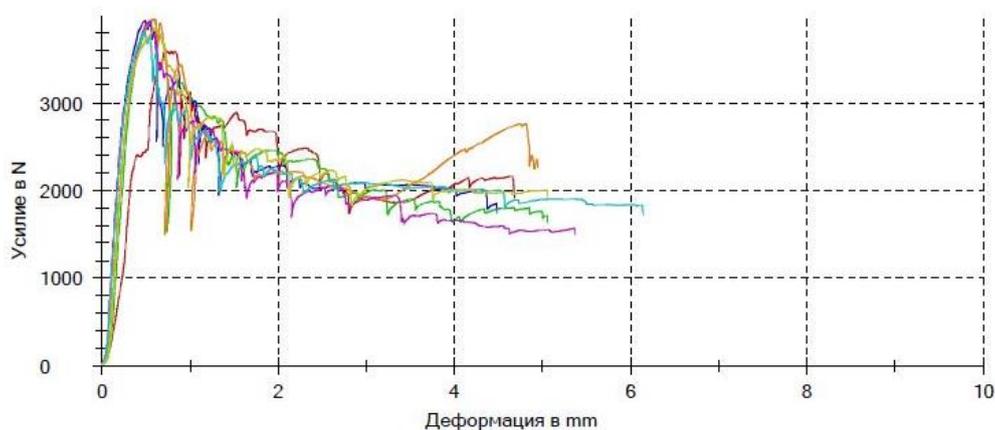


Рисунок 3. Диаграммы изгиба образцов с прошивкой



Рисунок 4. Образец углепластика с прошивкой арами до и после разрушения при сдвиге

На рисунке 5 приведены значения прочности непрошитых и прошитых образцов (значения приведены с доверительной вероятностью 65%).

Таким образом, в результате проведенных механических испытаний по определению прочности при сдвиге методом статического изгиба короткобалочных образцов углепластика двух различных серий получены следующие значения прочности при сдвиге τ : $35,66 \pm 3,15$ МПа – для исходного материала и $36,9 \pm 4,08$ МПа – для прошитого материала.

Выводы

Использование высокопрочных арамидных нитей для прошивки в сочетании с технологией вакуумной инфузии дает возможность повысить сдвиговую прочность углепластика, в том числе тонкостенных конструкций из него. Однако для уточнения полученных данных

требуются дальнейшие исследования для подбора оптимального шага прошивки и оптимизации текстильного процесса. Кроме того, определенный эффект может дать использование более высокопрочных связующих.

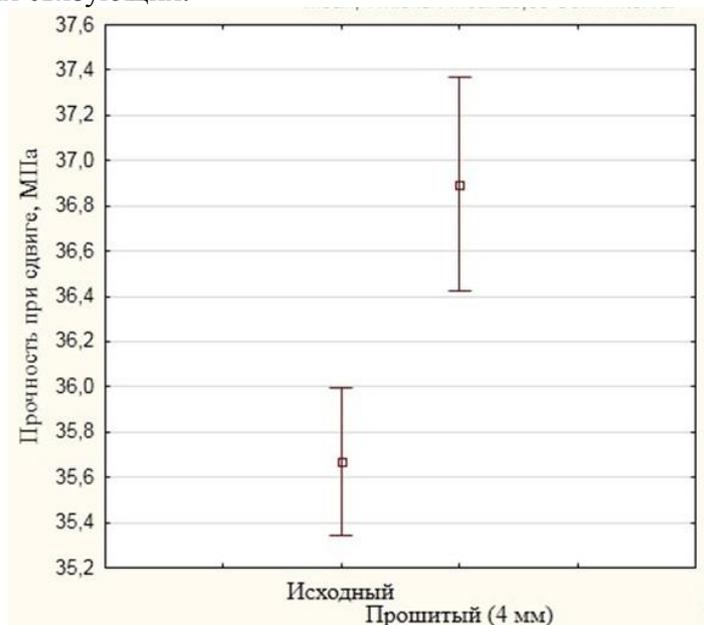


Рисунок 5. Сравнение прочности при сдвиге прошитых и непрошитых образцов (среднее значения и разброс данных с доверительной вероятностью 65%)

Литература

1. Жигун И.Г., Поляков В.А. Пространственно-армированные пластины. – Рига, «Знание», 1978, 215 с.
2. Куперман А.М., Зеленский Э.С. Исследование возможности увеличения прочностных характеристик композита путем их трехмерного армирования // Механика композиционных материалов и конструкций, 2001, т. 7, № 4, с. 434 – 444.
3. Кавун Н.С., Давыдова И.Ф., Гребнева Т.В. Композиты и наноструктуры, влияние прошивки стеклянного и углеродного армирующих волокон на остаточную прочность композиционного материала после удара // COMPOSITES and NANOSTRUCTURES, № 1, 2013.
4. Полилов А.Н., Татусь Н.А. Экспериментальное обоснование критериев прочности волокнистых композитов, проявляющих направленный характер разрушения // Вестник ПНИПУ, 2012, Механика, № 2, с. 140 – 163.
5. Обработка металлов давлением. Монография – Шевакин Ю.Ф., Чернышев В.Н., Шаталов Р.Л., Мочалов Н.А. – М.: Интермет инжиниринг, 2013, 496 с.
6. Шаталов Р.Л., Генкин А.А. управление листопрокатным комплексом при горячей прокатке стальных полос // СМб. Начн.удов международн.-практ. Конференции 17 – 21 ноября 2014г. «Современная металлургия начала нового тысячелетия», Липецк, ЛГТУ, 2014, ч. 3, с. 154 – 162.

Расширение множества центральных композиционных планов

д.т.н. проф. Сорокин М.Н., Ануфриева К.С.
Университет машиностроения
sorokin-mn@mail.ru, kristel_anufrieva@mail.ru

Аннотация. Рассматривается подход, позволяющий расширить множества центральных композиционных планов. Применение свойств точечного материально-го тела позволяет обеспечить ортогональное планирование.