

4. Татаринцев В.А., Толстошеев А.К., Гришанов П.А. Исследование прочности литых сталей для несущих деталей вагонов // Транспорт: наука, техника, управление. 2017. № 11. С. 41–44.

**СОЗДАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
С НЕПРЕРЫВНЫМ АРМИРОВАНИЕМ АРАМИДНЫМ ВОЛОКНОМ
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

*В.А. Юркина, инженер,
Томский политехнический университет
634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-60-60-06
E-mail: yurkinavarvara@yandex.ru*

Аннотация: В данной работе проведено исследование создания композиционного материала на полимерной основе с непрерывным армированием арамидного волокна для применения в аддитивных технологиях. Описаны технологические особенности процесса модификации поверхности арамидного волокна. Исследовано влияние материала модификации поверхности на адгезионные свойства получаемого композиционного материала.

Abstract: In this paper, a study was conducted to create a composite material on a polymer base with continuous reinforcement of aramid fiber for use in additive technologies. The technological features of the process of modifying the surface of aramid fibers are described. The effect of surface modification material on the adhesive properties of the resulting composite material was investigated.

Ключевые слова: аддитивные технологии, композиционный материал, непрерывное армирование, арамидное волокно, полисульфон.

Keyword: additive manufacturing, composite material, continuous reinforcement, aramid fiber, polysulfone.

Введение

Аддитивные технологии, или иными словами технологии 3D-печати, активно развиваются и постепенно внедряются в промышленность. Основными преимуществами таких технологий является высокий процент использования материала, возможность построения изделий за единый цикл без дополнительных (либо с минимальным количеством) механических обработок, а также возможность получать изделия с геометрией, которую невозможно получить классическими методами производства. Количество работ по созданию композиционных полимерных материалов, упрочненных волокнами, и изделий из этих материалов с применением аддитивных технологий ежегодно растет, что указывает на актуальность создания таких материалов.

Внедрение в России материалов нового поколения и современных технологий способно ускорить развитие многих секторов экономики и направлений отечественной промышленности [1].

Полисульфоны являются классом высокотемпературных термопластов, которые характеризуются отличной стойкостью к окислению при высоких температурах, хорошей стойкостью к растворителям, сопротивлению ползучести, химической стойкостью, малой усадкой [2].

Одним из наиболее распространенных материалов, применяемых для армирования полимеров, является арамидное волокно. Авторы статей [3,4] указывают на хорошие механические свойства материала.

Свойства межфазной связи и устойчивости к воздействию окружающей среды для армированных волокном (углеродным и арамидным) термопластичных матричных композитов (полисульфона, поликарбоната) исследовали авторы статьи [5], их целью было расширение круга материалов, применимых в качестве ортопедических имплантатов. Авторы пришли к выводу, что выбор матрицы является основополагающим параметром при использовании композиционного материала в определенных целях. Полисульфон показал себя отличным вариантом матрицы для обоих видов волокон.

Непрерывное армирование полисульфона и других высокотемпературных пластиков арамидным волокном методом экструзии выполняли авторы статьи [6], однако, применения данных материалов в области аддитивных технологий их целью не являлось, и с этой точки зрения вопрос не был изучен.

Материалы и методы исследования

В качестве матрицы был приобретен полисульфон марки ПСФ-150 (Россия, ОАО «Институт пластмасс»), в качестве армирующей нити было выбрано арамидное волокно марки НШТ 60 (Россия, ООО «Изоляция»). Свойства матрицы и армирующей нити приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

свойства приобретенного полисульфона

Свойства материала	Температура стеклования, Tg (°C)	Плотность, (g/cm ³)	Ударная прочность по Изоду, (J/m)	Кислородный индекс, (%)	Прочность на растяжение, (МПа)	Модуль упругости, (МПа)
PSU марки PSF-150	180 - 190	1.24	80	30	2840 - 3040	58 - 60

Таблица 2

Свойства арамидной нити (НШТ 60)

Свойства материала	Результирующая номинальная плотность ниток, текс	Удельная разрывная нагрузка ниток, сН/текс, не менее	Удлинение при разрыве, %, не менее
НШТ 60	60,0	170	3

Важным в создании композиционных материалов является адгезия между материалом – матрицей и наполнителем, это достигается путем модификации поверхности армирующей нити [7]. Один из доступных методов модификации поверхности, не требующий дополнительных затрат на оборудование и материалы – это пропитка нити раствором полимера перед процессом трехмерной печати. В этом случае важно учитывать адгезию между материалом аппрета и матрицей композиционного материала.

В противном случае, без достаточной адгезии между матрицей и армирующим волокном, механические свойства получаемых изделий будут уступать аналогичным изделиям, полученным без непрерывного армирования.

Для модификации поверхности арамидного волокна нами были использованы следующие материалы: ABS растворенный в ацетоне, 5,5 г на 50 мл. Так же для определения влияния аппретов на физические свойства полученных образцов были напечатаны образцы с непрерывным армированием арамидным волокном без аппрета и образцы из PSU, без непрерывного армирования.

Аппретирование нитей производилось с помощью трехгорлой колбы, далее нить высушивалась, проходя через систему воздушного охлаждения Filabot Airpath, поступала на систему автоматического наматывания филамента на катушку Filabot Spooler (Filabot, Вермонт, США).

С помощью этой же системы автоматического наматывания осуществлялась намотка на специальную катушку для подачи армирующей нити на 3D – принтер.

Идентификация полученного композиционного материала (армирующая нить – аппретирующий полимер) производилась на спектрометре ИК фурье-спектрометре ФТ-801 (Научно-производственная фирма «СИМЕКС», Новосибирск, Россия).

Микроструктура аппретированного арамидного волокна, композиционного материала с матрицей полисульфона с непрерывным армированием аппретированным арамидным волокном, исследовались с помощью цифрового микроскопа-камеры МК-20 (ООО «ЛОМО-Микросистемы», г. Санкт-Петербург, Россия)

Согласно справочным данным [8] водопоглощение полисульфона 0,2-0,4 %. Сушка материала проводилась в вакуумном термошкафе АКТАН ВТШ-Л52-250 (ООО «АКТАН ВАКУУМ», г. Фрязино, Россия) в вакууме 0,1 ат при температуре 150 °С продолжительностью 4 часа.

Результаты

Модификация поверхности арамидного волокна позволяет создать наилучшую адгезию между матрицей и армирующим волокном. Качество адгезии армирующего волокна и аппретирующего материала были определены с помощью ИК фурье-спектрометра. Полученные результаты спектроскопии композиционного материала армирующая нить – аппретирующий полимер представлены на рисунке 1.

Следует отметить, что инфракрасный спектр показал явное наличие аппретирующего вещества в результате модификации поверхности арамидного волокна. На рисунке 1 а приобретенное арамидное волокно согласно базе данных спектрометра соответствует арамидному волокну Kevlar 49. Далее, на рисунках 1 б - с видно явное наличие аппретирующих веществ и соответствие, к примеру, лактидных пиков на рисунке 1 б.

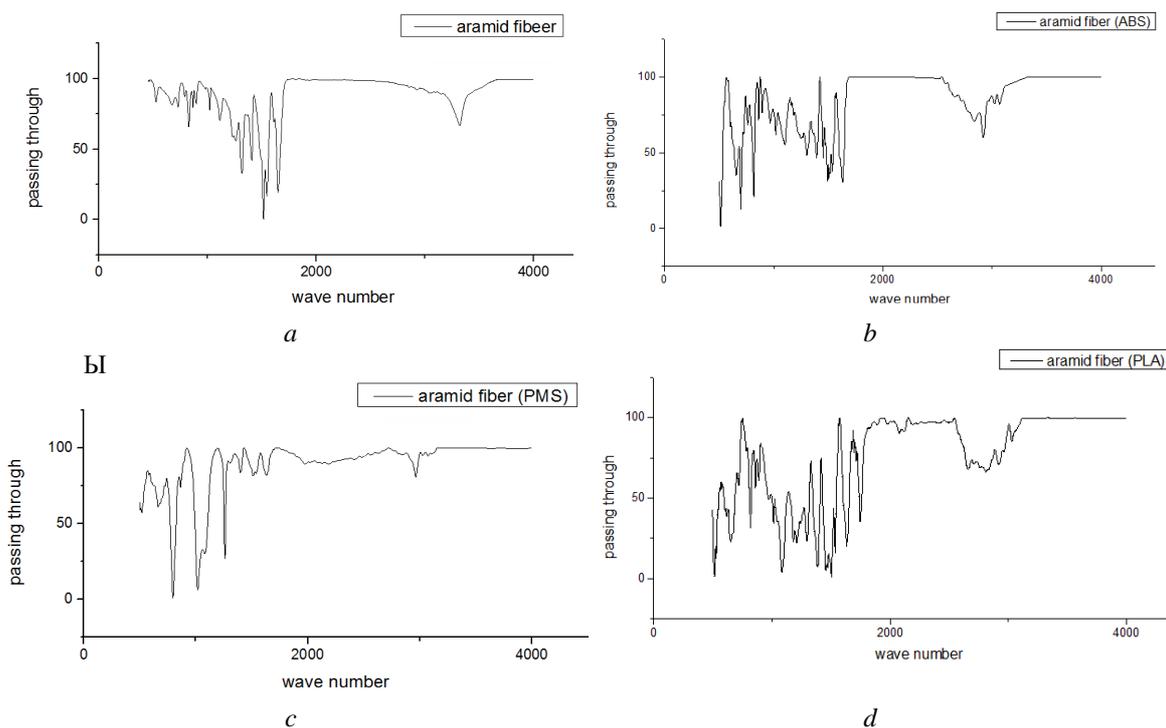


Рис. 1. Идентификация полученного композиционного материала, выполненная с помощью ИК фурье-спектрометра ФТ-801: а – без аппрета, б – ABS, с – PMS, д – PLA

С помощью цифрового микроскопа-камеры МК-20 были получены снимки модифицированной поверхности арамидного полотно, рисунок 2. Явно видно, что пропитка аппретирующим веществом способствует плотной «склежке» нитей волокна и как следствие можно прогнозировать увеличение физико-механических свойств получаемого композиционного материала.

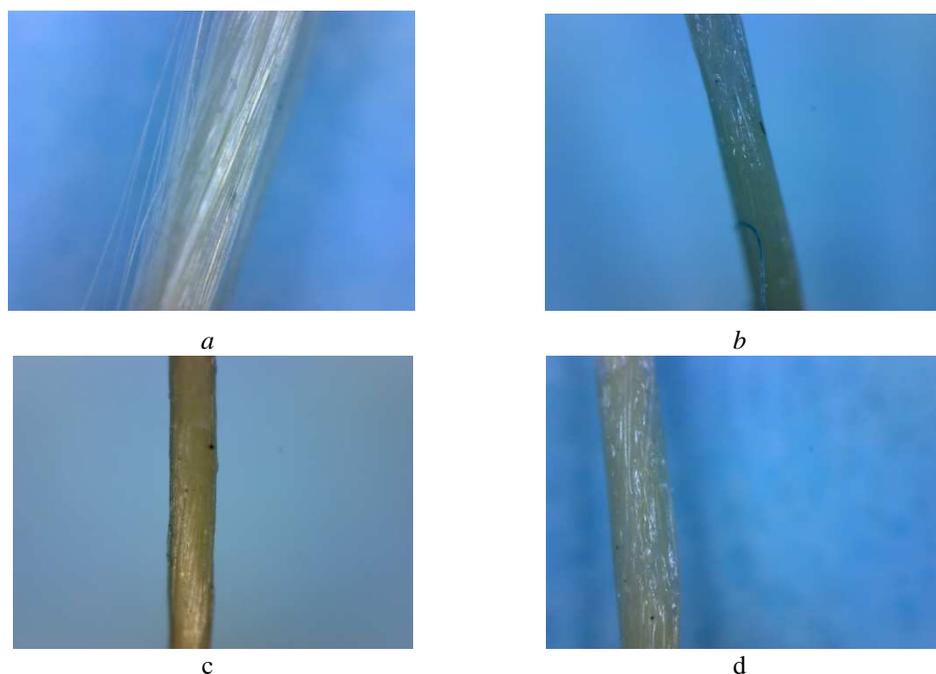


Рис. 2. Модификация поверхности арамидной нити различными составами: а – без аппрета, б – ABS, с – PMS, д – PLA

Одним из важных параметров получения композиционного материала с непрерывным армированием волокном для применения в аддитивных технологиях является ориентация волокна. В случае непрерывного армирования в процессе трехмерной печати данный параметр определяет прочность получаемых изделий. При нехватке матрицы прочностные характеристики получаемых изделий заметно снижаются.

На рисунке 3 приведено поперечное сечение экструдированного композиционного материала на основе полисульфона с непрерывным армированием арамидным волокном (в центре). В данном случае, в качестве модификации поверхности был использован ABS.



Рис. 3. Поперечное сечение композиционного материала с арамидным волокном.

1 – армирующее волокно, 2 – полимер-матрица (PSU)

го материала, простота работы при модификации поверхности волокна.

При модификации поверхности волокна силиконовым маслом PMS не удается получить однородный по структуре аппрет, в связи с чем необходимо предусмотреть дополнительные меры по удалению излишек аппретирующего вещества с волокна. Так же, при экструдировании композиционного материала силиконовое масло показало себя как неподходящий материал, так как вспенивало композиционный материал на основе полисульфона. Вспенивание экструдированного композиционного материала в процессе трехмерной печати связано с водопоглощением матрицы.

В процессе трехмерной печати композиционным материалом наблюдалась центрированная ориентация волокна. В процессе трехмерной печати необходимо учитывать анизотропию физико-механических свойств получаемых изделий.

Далее планируется отработка режимов трехмерной печати полимерным композиционным материалом на основе полисульфона с непрерывным армированием арамидным волокном аддитивным методом с целью получения образцов для проведения исследований физико-механических свойств изделий с различными аппретирующими материалами.

Список литературы:

1. Kutz M. (ed.). Applied plastics engineering handbook: processing and materials. – William Andrew, 2011.
2. Штейнберг Е.М., Сергеева Е. А., Зенитова Л. А., Абдуллин И. Ш. Применение и производство полиэфирсульфона. Обзор.:сб.ст. Вестник казанского Технологического университета.
3. Bandaru A. K. et al. Ballistic impact response of Kevlar® reinforced thermoplastic composite armors //International Journal of Impact Engineering. – 2016. – Т. 89. – С. 1-13.
4. Latour Jr R. A., Black J. Development of FRP composite structural biomaterials: ultimate strength of the fiber/matrix interfacial bond in in vivo simulated environments //Journal of biomedical materials research. – 1992. – Т. 26. – №. 5. – С. 593-606.
5. Dooher T. et al. Novel thermoplastic yarn for the through-thickness reinforcement of fibre-reinforced polymer composites //Journal of Thermoplastic Composite Materials. – 2018. – Т. 31. – №. 12. – С. 1619-1633.
6. Ertekin M. Ege University, Izmir, Turkey //Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites. – 2017. – С. 153.

- Ning F. et al. Additive manufacturing of carbon fiber-reinforced plastic composites using fused deposition modeling: Effects of process parameters on tensile properties //Journal of Composite Materials. – 2017. – Т. 51. – №. 4. – С. 451-462.
- Nayak L. et al. Thermal and electrical properties of carbon nanotubes based polysulfone nanocomposites //Polymer bulletin. – 2011. – Т. 67. – №. 6. – С. 1029.

УСЛОВИЯ СОХРАНЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИЛОВЫХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

М.А. Бяков¹, главный геолог, Г.Д. Буялич², д.т.н., зав. каф., К.Г. Буялич², к.т.н., доцент

¹АО «СУЭК-Кузбасс»

652507, Россия, Кемеровская обл., г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, 1

²Кузбасский государственный технический университет

650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

E-mail: gdb@kuzstu.ru

Аннотация: Дан обзор исследований по исследованиям изменения зазоров в сопряжении поршня с рабочим цилиндром под внешней нагрузкой, величина которых определяет работу манжетных уплотнений по герметизации рабочей полости и возможность свободного перемещения поршня относительно рабочего цилиндра.

Abstract: A review of studies on the changes in gaps in the matching of the piston with the working cylinder under external load is given, their value determines the work of the lip seals for sealing the working cavity and the possibility of free movement of the piston relative to the working cylinder.

Ключевые слова: силовой гидроцилиндр, зазоры, сопрягаемые поверхности, поле допуска, работоспособность, герметичность.

Key words: power hydraulic cylinder, gaps, mating surfaces, tolerance, operability, tightness.

Одной из основных проблем работы силовых гидроцилиндров, работающих под высоким давлением рабочей жидкости (например, силовых гидроцилиндров механизированных крепей с номинальным рабочим давлением в рабочих полостях до 80 МПа) является оценка их герметичности [1–3] и примерная оценка величины утечек [3–6].

Герметичность измеряется количеством рабочей жидкости и определяется, в основном, конструкцией манжетного уплотнения [7–11] и величиной герметизируемого зазора.

В свою очередь величина зазора зависит от свойств материалов, из которых изготовлены детали силового гидроцилиндра, от его конструктивных параметров, раздвижности, давления рабочей жидкости, полей допусков на изготовление сопряжений «поршень – рабочий цилиндр» и «шток – грядбукса», углом установки в крепи, а также способом приложения внешней нагрузки [12–16].

Для гидростоек механизированных крепей для упомянутых выше сопряжений используются посадки Н9/h9, Н8/h8, Н9/f9, Н7/f7 [17–19], расположение полей допусков которых изображено на рис. 1, где приведены следующие обозначения:

$d_{1н}$ – номинальный диаметр сопряжения, мм

ES и EI – верхнее и нижнее отклонения цилиндра, мм;

es и ei – верхнее и нижнее отклонения поршня, мм;

$\Delta_{ц}$ и $\Delta_{п}$ – допуски цилиндра и поршня, мм.

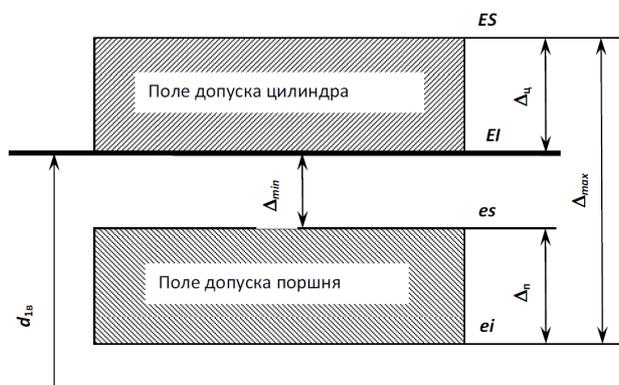


Рис. 1. Схема расположения полей допусков сопряжения поршня и цилиндра силового гидроцилиндра