

УДК 677.024.5

DOI 10.47367/0021-3497_2023_6_108

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ
ПОЛИМЕРНО-ВОЛОКНИСТОГО ПРЕПРЕГА,
ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ТКАЧЕСТВА**

**RESEARCH OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF
A POLYMER-FIBROUS PREPREG
PRODUCED BY THE WEAVING METHOD**

*Н.Л. КОРНИЛОВА¹, Д.А. МИРОШНИЧЕНКО¹, Т.Ю. КАРЕВА¹, И.В. МУСОВ²,
А.Л. СЛОНОВ², С.Ю. ХАШИРОВА²*

*N.L. KORNILOVA¹, D.A. MIROSHNICHENKO¹, T.Y. KAREVA¹, I.V. MUSOV²,
A.L. SLONOV², S.Yu. KHASHIROVA²*

*(¹Ивановский государственный политехнический университет,
²Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова)*

*(¹Ivanovo State Polytechnic University,
²Kabardino-Balkarian State University)*

E-mail: nkorn@ivgpu.com, pti@ivgpu.com

В статье рассмотрены структуры однослойных и многослойных переплетений тканых материалов для получения полимерно-волокнистого препрега из суперконструкционных полимерных нитей и углеродного ровинга. Определены основные структурные характеристики тканых препрегов, влияющие на заполнение материала углеродом и полимером. Рассчитаны значения толщины препрегов для 100% объемного заполнения материала.

The article considers the structures of single-layer and multilayer weaves of woven materials for the production of polymer-fiber prepreg from superconstructive polymer threads and carbon roving. The main structural characteristics of woven prepregs affecting the filling of the material with carbon and polymer are determined. The values of prepreg thickness for 100% volumetric filling of the material are calculated.

Ключевые слова: суперконструкционные полимеры, полиэфирэфиркетон, монопнить, углеродное волокно, переплетения тканей.

Keywords: high performance polymers, polyetheretherketone, monofilament, carbon fiber, interweaving of fabrics.

Создание новых эффективных материалов и технологий их изготовления в высокотехнологичных отраслях промышленности является одной из основных задач в развитии научно-технологического суверенитета Российской Федерации. Особенно важно получение новых материалов в таких отраслях, как авиационная, ракетно-космическая, оборонная промышленность, атомная энергетика, машиностроение, автомобилестроение, электроника, электротехника [1, 2]. К конструкционным материалам в этих областях применяются особые требования, они должны иметь высокую прочность, термостойкость, износостойкость, коррозионностойкость и радиационную стойкость [3].

Данные характеристики можно получить путем разработки новых видов композиционных материалов с включением в их состав в качестве связующего термостойких суперконструкционных полимеров (полиэфирсульфоны, полиэфиркетоны, полифениленсульфиды). Материалы этой группы обладают радиационной стойкостью в сочетании с высокими физико-механическими и теплофизическими характеристиками. Они также отличаются стойкостью к действию ударных циклических нагрузок и растрескиванию, имеют высокую атмосферо- и химическую стойкость к топливу, маслам, основаниям и кислотам [4].

Наибольшее распространение в качестве армирующего компонента получило углеродное волокно благодаря своим превосходным физико-механическим показателям (высокой удельной прочности и упругости) и свойствам (низкая плотность, низкий коэффициент теплового расширения, стойкость к высокой температуре, химическая стабильность). Объединение углерода с суперконструкционными полимерами позволит создавать препреги для дальнейшего формования композитов. По-

лучение данного типа препрегов возможно методами ткачества и технического плетения.

Основным преимуществом тканых основ для композитов является хорошая стабильность размеров в направлении основы и утка, высокая плотность расположения нитей и высокая жесткость на изгиб [5]. Как известно, к параметрам, которые определяют механические свойства текстильных армированных композитов, относятся переплетение, линейную плотность нитей (пряжи), их разрывную нагрузку, а также долю армирующего компонента в композите. Различные сочетания указанных параметров позволяют формировать композиты с необходимыми физико-механическими свойствами.

Целью работы является определение свойств полимерно-волоконистого препрега, полученного методом ткачества из полиэфиркетона и углерода, и зависимости его основных характеристик от параметров структуры.

В качестве нитей основы выбран углеродный ровинг марки Н-700 (ООО "Композит Полимер", г. Щелково), в качестве нитей утка – мононить из полиэфиркетона марки ПЭЭК-V, синтезированного в Центре прогрессивных материалов и аддитивных технологий КБГУ, физико-механические характеристики которых представлены в табл. 1. Использование полимера именно этой марки обусловлено его оптимальными показателями по разрывной нагрузке, удлинению при разрыве и гибкости мононити. Сравнение физико-механических характеристик других марок суперконструкционных полимеров представлено в работах [6, 7]. В силу высокой жесткости и удлинения при разрыве полиэфиркетоновых нитей использовать их в качестве основы не представляется возможным.

Т а б л и ц а 1

Название исходных компонентов	Линейная плотность, текс	Диаметр сечения, мкм	Разрывная нагрузка, Н	Удлинение, %	Гибкость, мм
Углеродный ровинг Н-700	700	1137	56,1	3,58	24
ПЭЭК – V	1430	950	62,15	43,53	41

Для исследований выбраны следующие виды переплетений:

- рогожка 7/8 для формирования однослойной ткани;
- саржа 1/4 с отрицательным сдвигом для формирования трехслойной ткани;
- сатин 5/2 для формирования трехслойной ткани;
- саржа 1/2 с отрицательным сдвигом для формирования пятислойной ткани.

Выбор однослойного переплетения рогожка 7/8 обеспечивает большее вложение как армирующего компонента, так и термоплавого полимера по сравнению с другими однослойными переплетениями. Формирование многослойных тканых структур позволяет получить равномерный

по толщине пространственный каркас, предупреждая возможность расслоения композита. Вид переплетения определяет распределение армирующего компонента по слоям и связанность структуры по толщине полотна.

Все образцы тканей были выработаны на 15 ремизах рядовой проборкой одной заправки ткацкого станка. Фотографии и схемы разрезов вдоль углеродных нитей для выработанных переплетений представлены на рис. 1: а, б – рогожка 7/8; в, г – трехслойная саржа 1/4; д, е – трехслойный сатин 5/2; ж, з – пятислойная саржа 1/2.

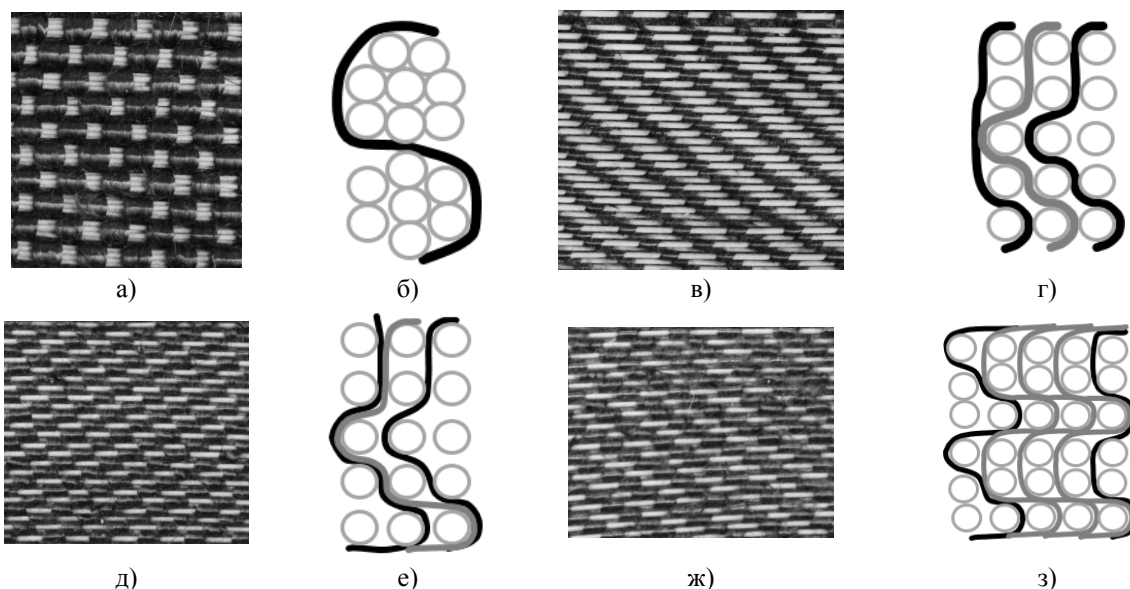


Рис. 1

Из представленных на рис. 1 разрезов видно, что у пятислойной саржи 1/2 (рис. 1, в, г) и трехслойной саржи 1/4 (рис. 1, ж, з) углеродная нить располагается на поверхности каждого слоя и переплетается с полимерными нитями только соседнего слоя. В трехслойной ткани с переплетением сатин 5/2 (рис. 1, д, е) углеродная нить среднего слоя переплетает все три слоя ткани, обеспечивая большее, чем в предыдущих вариантах, единство структуры. Структурные показатели однослойных и многослойных тканых препрегов представлены в

табл. 2 и 3. Для расчета доли вложения армирующего компонента D_o и объемного заполнения ткани E_v использовались следующие формулы:

$$D_o = P_o \left(\frac{\frac{T_o}{100 - a_o}}{\left(\frac{T_o}{100 - a_o} \right) + \left(\frac{P_y T_y}{P_o (100 - a_y)} \right)} \right),$$

где P_o – плотность ткани по основе, нит/дм; P_y – плотность ткани по утку, нит/дм; T_o – линейная плотность нитей ос-

новы, текс; T_y – линейная плотность нитей утка, текс; a_o – уработка нитей основы, %;

a_y – уработка нитей утка, %;

$$E_v = 0,25\pi P_o \frac{P_y \left(\frac{d_o^2(1+0,01a_o)}{P_y} + \frac{d_y^2(1+0,01a_y)}{P_o} \right)}{T_{тк}}$$

где $T_{тк}$ – толщина ткани, мм.

Т а б л и ц а 2

Наименование переплетения	Толщина ткани, мм	Плотность ткани по основе P_o , нит/дм	Плотность ткани по утку P_y , нит/дм	Уработка нитей углерода a_o , %	Доля вложения армирующего компонента D_o
Рогожка 7/8	5	150	145	27	0,43
Саржа 1/4	6,5	150	200	33	0,35
Сатин 5/2	5,1	150	165	35	0,41
Саржа 1/2	6	150	260	41	0,32

Т а б л и ц а 3

Наименование переплетения	Число слоев	Поверхностное заполнение по основе E_{s_o} , %		Поверхностное заполнение по утку E_{s_y} , %		Объемное заполнение E_v , %	Необходимая толщина для $E_v = 100\%$, мм
		общее	на один слой	общее	на один слой		
Рогожка 7/8	2	170,55	85,28	137,75	68,88	56,96	2,95
Саржа 1/4	3	170,55	56,85	190	63,34	45,9	3,42
Сатин 5/2	3	170,55	56,85	156,75	52,25	63,24	3,11
Саржа 1/2	5	170,55	34,11	247	49,4	66,5	3,79

Вложение армирующего компонента (углеродных нитей) зависит от линейной плотности нитей, плотности расположения нитей в материале и величины их уработки. В силу особенности физико-механических свойств полиэфиркетонных нитей их уработка равна нулю ($a_y = 0$ %). Из табл. 2 видно, что доля вложения армирующего компонента D_o уменьшается при увеличении количества слоев в тканом препреге с 0,43 для однослойного переплетения до 0,32 для пятислойного за счет увеличения количества полимерных нитей. Уработка нитей основы увеличивается с 27 до 41 %, что говорит о большей их извитости в структуре материала.

Из табл. 3 видно, что поверхностное заполнение тканей всех переплетений по основе и по утку больше 100 %, что обусловлено пространственным расположением нитей в ткани. Для определения поверхностного заполнения условного слоя учитывалось число слоев в ткани, при этом для рогожки 7/8 число слоев принималось равным двум исходя из простран-

ственного расположения полиэфиркетонных нитей, стянутых в пучок углеродной нитью (рис. 1, б).

Объемное заполнение всех образцов находится в пределах от 45 до 67 %, что связано с высокой жесткостью полиэфиркетонных нитей, сохраняющих форму поперечного сечения в виде круга при различных вариантах переплетений, и натяжением углеродных нитей. Это свидетельствует о низкой плотности структуры и большом количестве пор в тканом материале.

Для получения равномерного композита необходимо уплотнение материала до величины 100% объемного заполнения непосредственно перед процессом расплавления. Расчетные значения толщины материала, соответствующие значению объемного заполнения 100%, представлены в табл. 3. Для достижения наименьшего количества пор необходимо уплотнять тканый материал на величину от 37 до 46% от общей толщины материала в зависимости от вида переплетения.

Следует отметить, что все рассмотренные варианты переплетений имеют однонаправленное многослойное расположение армирующего компонента. Для формирования композитов с двумя и более направлениями армирования необходимо вводить в систему уточных нитей армирующий компонент, что требует дальнейших исследований.

ВЫВОДЫ

На основании исследования структуры и свойств полимерно-волоконистых препрегов установлено, что доля вложения армирующего компонента уменьшается при увеличении количества слоев в тканом материале, что свидетельствует об увеличении количества полимерных нитей. Объемное заполнение полученных тканей находится в пределах от 45 до 67 %, что обусловлено низкой плотностью структуры и свидетельствует о большом количестве пор. Перед процессом расплавления рекомендовано уплотнение материала до величины 100% объемного заполнения, для чего рассчитаны соответствующие значения толщин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shukla D., Negi Y.S., Uppadhyaya J.S., Kumar V. Synthesis and modification of poly (ether ether ketone) and their properties: a review // *Polymer Reviews*. 2012. V. 52(2). P. 189...228. – doi.org/10.1080/15583724.2012.668151.
2. Zhansitov A.A., Khashirova S.Yu., Slonov A.L., Kurdanova Zh.I., Shabaev A.S., Khashirov A.A., Mikitaev A.K. Development of technology of polysulfone production for 3D printing // *High Performance Polymers*. 2017. 29(6), 724...729.
3. Зарецкая Г.П., Базаев Е.М., Руднева Т.В., Лунина Е.В. Технологии трехмерного армирования текстильными и швейными методами конструкций из полимерных композиционных материалов // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*, 2021. №6. С. 107...115.
4. Maeyama K., Hikiji I., Ogura K., Okamoto A., Ogino K., Saito H., Yonezawa N. Synthesis of optically active aromatic poly (ether ketone) s via nucleophilic aromatic substitution polymerization // *Polymer journal*. 2005. V. 37(9). P. 707...710. – doi.org/10.1295/polymj.37.707.
5. Zhansitov A.A., Slonov A.L., Shetov R.A., Baikaziev A.E., Shakhmurzova K.T., Kurdanova Zh.I.,

Khashirova S.Yu. Synthesis and properties of polyetheretherketones for 3d printing // *Fibre Chemistry*. 2018. 49-6, 414.

6. Grishanov S. Structure and properties of textile materials. Handbook of textile and industrial dyeing. – Woodhead Publishing. 2011. P. 28...63. – doi.org/10.1533/9780857093974.1.28.

7. Мирошниченко Д.А., Корнилова Н.Л., Мусов И.В., Слонов А.Л., Хаширова С.Ю. Исследование упругодеформационных характеристик мононитей из суперконструкционных полимеров // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2022. № 5 (401). С. 65...71.

REFERENCES

1. Shukla D., Negi Y.S., Uppadhyaya J.S., Kumar V. Synthesis and modification of poly (ether ether ketone) and their properties: a review // *Polymer Reviews*. 2012. V. 52(2). P. 189...228. – doi.org/10.1080/15583724.2012.668151.
2. Zhansitov A.A., Khashirova S.Yu., Slonov A.L., Kurdanova Zh.I., Shabaev A.S., Khashirov A.A., Mikitaev A.K. Development of technology of polysulfone production for 3D printing // *High Performance Polymers*. 2017. 29(6), 724...729.
3. Zaretskaya G.P., Bazaev E.M., Rudneva T.V., Lunina E.V. Technologies of 3d reinforcing of polymer composite constructions by textile and sewing methods // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021, 6. P. 107...115.
4. Maeyama K., Hikiji I., Ogura K., Okamoto A., Ogino K., Saito H., Yonezawa N. Synthesis of optically active aromatic poly (ether ketone) s via nucleophilic aromatic substitution polymerization // *Polymer journal*. 2005. V. 37(9). P. 707...710. – doi.org/10.1295/polymj.37.707.
5. Zhansitov A.A., Slonov A.L., Shetov R.A., Baikaziev A.E., Shakhmurzova K.T., Kurdanova Zh.I., Khashirova S.Yu. Synthesis and properties of polyetheretherketones for 3d printing // *Fibre Chemistry*. 2018. 49-6, 414.
6. Grishanov S. Structure and properties of textile materials. Handbook of textile and industrial dyeing. – Woodhead Publishing. 2011. P. 28...63. – doi.org/10.1533/9780857093974.1.28.
7. Miroshnichenko D.A., Kornilova N.L., Musov I.V., Slonov A.L., Khashirova S.Yu. Investigation of elastic-deformation characteristics of monothreads from superstructural polymers // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022, 5. P. 65...71.

Рекомендована оргкомитетом XIX Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы». Поступила 27.09.23.