

Мононити из суперконструкционных термоплавких полимеров для переработки методами плетения и ткачества Monofilaments made of superengineering hot-melt polymers for processing by braiding and weaving methods

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.YU. KAREVA¹,
I.V. MUSOV², A.L. SLONOV², S.YU. KHASHIROVA²

¹ Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Россия

² Кабардино-Балкарский государственный университет им Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия

¹ Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

² Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nal'chik, Russia
nkorn@ivgpu.com, pti@ivgpu.com

В статье рассмотрены основные физико-механические характеристики мононитей из суперконструкционных полимеров, влияющие на определение их пригодности к переработке различными текстильными технологиями.

Проведено сравнение этих показателей с показателями мононитей из полиэтилена высокой плотности, успешно используемыми при создании тканых структур как однослойного, так и многослойного строения. Выявлены основные ограничения по использованию полимерных нитей в технологиях ткачества и плетения.

Ключевые слова: суперконструкционные полимеры, полифениленсульфон, полиэфирэфиркетон, мононить, техническое плетение, 3D ткачество

The article discusses the main physical and mechanical characteristics of monofilaments made of superengineering polymers, which affect their suitability for processing by various textile technologies. These characteristics have been compared with those of high-density polyethylene monofilaments, which are successfully used in the creation of both single-layer and multilayer woven structures. The main limitations on the use of polymer threads in braiding and weaving technologies are revealed.

Keywords: high performance polymers, polyphenylsulfone, polyetheretherketone, monofilament, technical weaving, 3D weaving

DOI: 10.35164/0554-2901-2022-9-10-50-52

В настоящее время активно развивается класс суперконструкционных полимеров, в который входят полиэфирсульфоны, полиэфиримиды, полиэфиркетоны, полифениленсульфиды. Основное применение материалов этого типа ориентировано на космическую и авиационную индустрию, а также на производство уникальной спецтехники [1]. Полимеры данного класса могут сохранять высокие показатели значений механических характеристик в заданном интервале рабочих температур, обеспечивать хорошую теплостойкость и пониженное водопоглощение, а также имеют высокую огне- и химическую стойкость [2]. Известно, что суперконструкционные полимеры выпускаются, в том числе, в форме мононити различной толщины, намотанной на бобину. В связи с этим возможно получение полых и многослойных структур, а также объемных изделий с использованием текстильных технологий: технического плетения и 3D ткачества.

Цель настоящей работы заключается в определении параметров нитей из суперконструкционных полимеров и их пригодности к переработке текстильными технологиями.

Для исследований были использованы мононити из двух видов суперконструкционных полимеров, изготовленные на оборудовании Центра прогрессивных материалов и аддитивных технологий Кабардино-Балкарского государственного университета (г. Нальчик): полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) и полифениленсульфона (ПФСн).

Мононити с различными диаметрами на основе ПЭЭК и ПФСн были получены методом экструзии на двухшнековом микроэкструдере TwinScrew 10 ($L/D = 20$) фирмы TwinTech (Великобритания) при максимальной температуре экструзии 370°C для ПЭЭК и 360°C для ПФСн. Для получения нитей были взяты материалы с различными показателями текучести расплава: ПЭЭК 239х с ПТР 30 г/10 мин, ПЭЭК 281х с ПТР 2,4 г/10 мин и промышленный ПЭЭК фирмы Victrex

(Великобритания) марки 450 Р с ПТР 8 г/10 мин; также использовали синтезированный ПФСн с ПТР 64,8 г/10 мин (274а) и 35,4 г/10 мин (237а), а также промышленная марка ПФСн Radel 5800 NT фирмы Solvay (Бельгия) с ПТР 11 г/10 мин.

Для сравнения физико-механических характеристик были использованы мононити из полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) производства Taian Longqi Plastics, г. Тайань, Китай, которые успешно используются в текстильных технологиях и позволяют создавать ткани как однослойного, так и многослойного строения.

Характеристики исследуемых образцов нитей представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики исследуемых образцов монофиламентов.

№ образца	Название материала	ПТР, г/10 мин	Диаметр сечения, мкм
1	ПЭЭК 239х	30	400
2	ПЭЭК 281х	2,4	380
3	ПЭЭК 281х		900
4	ПФСн 274а	64,8	380
5	ПФСн 274а		600
6	ПФСн 274а		900
7	ПФСн 237а	35,4	400
8	ПФСн – R	11	950
9	ПЭЭК – V	8	950
10	ПЭВП	–	300
11	ПЭВП		400

Важнейшим показателем нитей является их прочность, которая характеризуется такими физико-механическими свойствами как

Таблица 2. Физико-механические свойства монофиламентов.

Исследуемые образцы		Диаметр сечения, мкм	Разрывная нагрузка, Н	Разрывное напряжение, МПа	Удлинение, %	Гибкость, мм
№	Название					
1	ПЭЭК 239х	400	17,15	428,7	191,95	41
2	ПЭЭК 281х	380	11,9	329,6	132,7	40
3	ПЭЭК 281х	900	69,35	342,5	8,15	46
4	ПФСн 274а	380	13,3	368,4	70,05	43
5	ПФСн 274а	600	23,2	257,8	55,9	45
6	ПФСн 274а	900	39,6	195,5	65,6	45
7	ПФСн 237а	400	13,45	336,2	97,15	43
8	ПФСн – R	950	37,86	167,8	13,95	43
9	ПЭЭК – V	950	62,15	275,4	43,53	41
10	ПЭВП	300	43,3	1 924,4	173,6	34
11	ПЭВП	400	45,9	1 147,5	232,8	29

разрывная нагрузка и удлинение до разрыва [3–5]. Определение этих показателей осуществляли по ГОСТ 6611.2-73.

Кроме того, мононити должны быть способны огибать направляющие органы текстильных машин без разрушения нити и ухудшения свойств. Этот фактор также необходимо учитывать для прогнозирования их поведения при значительном изгибе. Значения свойств гибкости определяли по методу плоской петли, сущность которого описана в ГОСТ Р 55826-2013 и ГОСТ 28790-90. При этом наиболее гибким является образец, значение гибкости которого близко к 1. Результаты испытаний образцов представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что мононить из ПЭЭК с ПТР 30 г/10 мин (образец №1) характеризуется более высокими разрывной нагрузкой и относительным удлинением, чем ПЭЭК с ПТР 2,4 г/10 мин (образец №2), при том, что нити имеют близкие диаметры сечения. Известно, что для получения качественного волокна расплав должен иметь оптимальную вязкость. Возможно, при низком ПТР процесс формования волокна более затруднен, что приводит к невысоким механическим показателям.

Увеличение диаметра нити, полученного из ПЭЭК 281х (образец 3) до 900 мкм закономерно приводит к повышению разрывной нагрузки, однако разрывное напряжение практически не меняется. При этом наблюдается значительное снижение относительного удлинения при разрыве, что может быть связано с увеличением количества включений и дефектов, содержащихся в нити большего диаметра, которые инициируют разрушение. Образец нити №9, полученный на основе промышленной марки ПЭЭК, имеет более низкую прочность, но более высокое относительное удлинение при разрыве.

Из таблицы 2 также видно, что, в отличие от ПЭЭК, с увеличением диаметра нити из ПФСн происходит снижение разрывного напряжения, однако удлинение изменяется незначительно (образцы №4–6). Нить из промышленного ПФСн имеет близкую к образцу №6 прочность, но значительно уступает по удлинению.

Видно, что промышленные нити на основе ПЭВП имеют на порядок более высокую прочность и гибкость по сравнению с нитями из суперконструкционных пластиков (табл. 2). Известно, что для промышленных волокон используется метод ориентации и многократного вытягивания волокна с полной или частичной релаксацией, в результате чего разрывная прочность может повышаться в 2–3 раза [6]. По-видимому, данные волокна имеют достаточно высокую степень вытяжки и ориентации, благодаря чему достигаются высокие механические свойства, несмотря на то, что суперконструкционные полимеры имеют значительно более высокую прочность при стандартных испытаниях [7, 8].

На рис. 1 представлено сравнение физико-механических образцов нитей с диаметром поперечного сечения ~ 400 мкм.

Из рис. 1 видно, что наибольшую нагрузку и удлинение до разрыва имеют первый и второй образцы, при этом гибкость материала недостаточна. Самым гибким из рассматриваемых образцов является образец №5, однако он имеет самые низкие показатели по удлинению и нагрузке до разрыва.

На рис. 2 представлено сравнение физико-механических свойств образцов нитей, имеющих диаметр поперечного сечения от 900 до 1000 мкм. Как видно из рисунка, при увеличении толщины нити

значительно повышаются показатели разрывной нагрузки и снижаются показатели удлинения до разрыва. При этом гибкость ухудшается (значения показателя увеличиваются), но незначительно.



Рис. 1. Физико-механические свойства нитей диаметром ~400 мкм из различных полимеров.

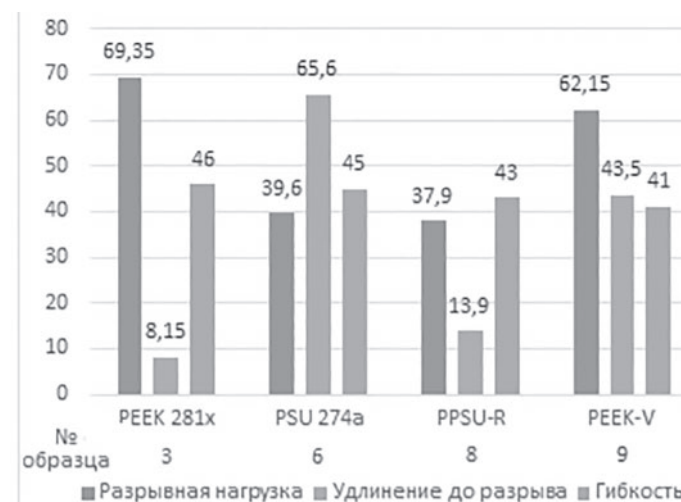


Рис. 2. Физико-механические свойства полимерных нитей диаметром 900–1000 мкм из различных полимеров.

На рис. 3 представлено сравнение физико-механических свойств нитей из ПЭЭК (образца №1) и из ПФСн (образца №7), имеющих диаметр поперечного сечения 400 мкм, с образцами №10 и 11 из полиэтилена высокой плотности, имеющими диаметр поперечного сечения 300 и 400 мкм соответственно.

По полученным данным можно сделать вывод о том, что для применения в текстильных технологиях больше подходит образец №1, сочетающий в себе способность выдерживать большую нагрузку и удлинение до разрыва и имеющий показатель гибкости на среднем уровне.

Для более детального изучения свойств нитей в различные моменты тканеобразования и плетения необходимо измерение физико-механических свойств в динамических условиях выработки изделия по ткацким технологиям.

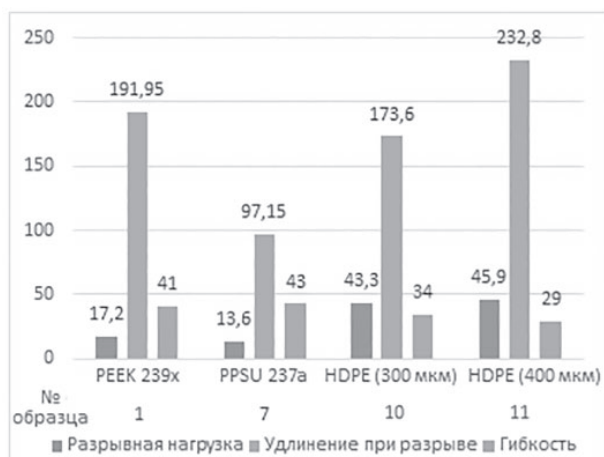


Рис. 3. Физико-механические свойства нитей из различных полимеров.

Выводы

Показана принципиальная возможность получения волокон различного диаметра из суперконструкционных полимеров. Исследованы физико-механические свойства мононитей из суперконструкционных материалов, определяющие их пригодность к переработке текстильными технологиями. Результаты исследования показывают, что основными ограничениями по использованию полимерных нитей в технологиях ткачества и плетения являются их высокая хрупкость и недостаточная гибкость. Для получения высоких механических свойств нитей необходимо осуществлять процесс ориентационной вытяжки и проводить термическую обработку для релаксации напряжений и снижения дефектности.

Литература

1. Евразийский химический рынок. Новые полимеры: полифениленсульфид // Международный деловой журнал. 2008. Т. 39. №3. С. 14–21.
2. Ткачук А.И., Гребенева Т.А., Чурсова Л.В., Панина Н.Н. Термопластичные связующие: настоящее и будущее. // Труды ВИАМ. 2013. №11. С. 7.
3. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение (текстильные полотна и изделия). – М.: Легпромбытиздат, 1992
4. Сергеев В.Т. Разработка структуры и технологии изготовления многослойной комбинированной ткани из углеродных и кварцевых нитей. Дис. канд. техн. наук. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2014.
5. Черняева О.Е., Карева Т.Ю. Сравнительное исследование напряженности и конструктивно-заправочной линии нитей основы в процессе выработки баллистической ткани на станке СТБ и DORNIER// Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010. – №1. – с. 50–54.
6. Папков С. П. Теоретические основы производства химических волокон. – М., 1990.
7. A.A. Zhansitov, S.Yu. Khashirova, A.L. Slonov, Zh.I. Kurdanova, A.S. Shabaev, A.A. Khashirov A.K. Mikitaev. Development of technology of polysulfone production for 3D printing. High Performance Polymers, 29(6), (2017) 724–729.
8. A.A. Zhansitov, A.L. Slonov, R.A. Shetov, A.E. Baikaziev, K.T. Shakhmurzova, Zh.I. Kurdanova, S.Yu. Khashirova, Synthesis and properties of polyetheretherketones for 3d printing, Fibre Chemistry. 49-6 (2018) 414.