

Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-1-44-51

ВЛИЯНИЕ ТЕКУЧЕСТИ РАСПЛАВА ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕПЛАСТИКА НА ЕГО ОСНОВЕ

В.С. Морозова¹, М.С. Иванов¹, А.М. Шестаков¹, Н.Г. Павлюкович¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Исследованы свойства углепластиков на основе полиэфирэфиркетона с различным показателем текучести расплава (от 52 до 1590 г/10 мин), синтезированных в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ. Выявлены зависимости деформационно-прочностных характеристик углепластика от показателя текучести расплава полимерного связующего. Установлены максимальные значения показателя текучести расплава полиэфирэфиркетона для получения углепластика с физико-механическими свойствами, не уступающими характеристикам листового углепластика ВКУ-65, разработанного в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Ключевые слова: полиэфирэфиркетон, углепластик, показатель текучести расплава, прочность, растяжение, сжатие, изгиб, межслойный сдвиг

Для цитирования: Морозова В.С., Иванов М.С., Шестаков А.М., Павлюкович Н.Г. Влияние текучести расплава полиэфирэфиркетона на характеристики углепластика на его основе // Труды ВИАМ. 2024. № 1 (131). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-1-44-51.

Scientific article

THE INFLUENCE OF THE MELT FLOW OF POLYETHERETHERKETONE ON THE CHARACTERISTICS OF CARBON FIBER PLASTIC BASED ON IT

V.S. Morozova¹, M.S. Ivanov¹, A.M. Shestakov¹, N.G. Pavlukovich¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. The properties of carbon fiber based on polyetheretherketone with different melt flow rate (from 52 to 1590 g/10 min) synthesized at the Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute» have been studied. The dependences of the values of the deformation and strength characteristics of carbon fiber on the MFR of the polymer binder have been revealed. The maximum values of the MFR of polyetheretherketone for production of carbon fiber with physical and mechanical properties that are not inferior to the characteristics of sheet carbon fiber VCU-65, developed by NRC «Kurchatov Institute» – VIAM.

Keywords: polyetheretherketone, carbon fiber, melt flow rate, strength, tension, compression, bending, interlayer shear

For citation: Morozova V.S., Ivanov M.S., Shestakov A.M., Pavlukovich N.G. The influence of the melt flow of polyetheretherketone on the characteristics of carbon fiber plastic based on it. *Trudy VIAM*, 2024, no. 1 (131), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-1-44-51.

Введение

В последние годы интерес к термопластичным полимерным композиционным материалам (ТПКМ) неуклонно растет и в нашей стране, и за рубежом. В частности, в авиакосмической отрасли наблюдается заметный рост использования ТПКМ, в том числе композитов, армированных однонаправленным или тканым углеродным наполнителем [1–6].

Доля ТПКМ составляет ~10 % от общего объема полимерных композитов. В Российской Федерации производство данных материалов в значительной степени зависит от поставок импортного сырья, наблюдается дефицит отечественных термопластичных связующих. Следует отметить, что в текущей мировой политической ситуации особое значение приобретает расширение отечественной сырьевой базы.

Полиарилэнэфиркетоны – термопластичные полимеры с высоким уровнем эксплуатационных характеристик. Химическая структура состоит из бензольных колец, разделенных эфирными или кетоновыми группами. Такое строение полимерной цепи обеспечивает высокую механическую прочность, химическую и термическую стойкость полимерных материалов [7]. Среди семейства полиарилэнэфиркетонов наибольшее использование в автомобильной, авиакосмической, энергетической и медицинской отраслях нашел полиэфирэфиркетон (ПЭЭК). В настоящее время ПЭЭК позиционируется как один из наиболее применяемых суперконструкционных термопластичных материалов для получения ТПКМ [8–10].

Данный полимер является частичнокристаллическим, характеризуется высоким модулем упругости (3,2 ГПа) при температуре ниже температуры стеклования (~145 °С) и может сохранять эксплуатационные характеристики вплоть до температур, близких к температурам начала плавления полимерной матрицы (HDT ≈ 300 °С) [10, 11].

Полиэфирэфиркетон синтезирован в 1970-х гг., а с конца 1980-х гг. промышленно производится компанией Vitrex [11]. В Российской Федерации опытно-промышленное производство ПЭЭК запущено в АО «Институт пластмасс им. Г.С. Петрова» [12].

На основе ПЭЭК (АО «Институт пластмасс») и углеродной ткани саржевого плетения (АО «Юматекс») в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработан и изготавливается листовой углепластик марки ВКУ-65 (ТУ 1-595-9-1944–2021) [6]. Для повышения конкурентоспособности данного материала на технологической базе лабораторий «Полимерные связующие, клеи и специальные жидкости» и «Полимерные материалы со специальными свойствами» проведена научно-исследовательская работа по освоению технологии синтеза и использования ПЭЭК в качестве полимерного связующего при изготовлении ТПКМ.

Консолидированные листы ТПКМ на основе ПЭЭК и тканого углеродного наполнителя изготавливают по технологиям прямого прессования или автоклавного формования в температурном диапазоне, при котором достигается максимальная текучесть связующего, но активная термодеструкция не происходит. Показатель текучести расплава (ПТР) коммерческих марок отечественного порошкообразного ПЭЭК при температуре 380–400 °С находится в диапазоне 50–240 г/10 мин [13].

Уровень ПТР термопластичного связующего при заданных температуре и нагрузке зависит от молекулярной массы полимера: высокие значения соответствуют низким молекулярной массе и вязкости расплава термопласта [14, 15]. Процесс равномерной пропитки углеродного наполнителя расплавом термопластичного полимерного связующего происходит тем легче, чем больше ПТР, а значит меньше молекулярная масса. Однако при значительном уменьшении молекулярной массы термопласта снижается уровень физико-механических характеристик ТПКМ на его основе.

Таким образом, для получения качественного композиционного материала необходимо определить зависимость деформационно-прочностных свойств ТПКМ от ПТР или молекулярной массы полимерного связующего.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в рамках реализации комплексной научной проблемы 13.2. «Конструкционные ПКМ» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [16].

Материалы и методы

Образцы ПЭЭК синтезировали методом нуклеофильной поликонденсации.

Степень кристалличности определяли как отношение энтальпии плавления исследуемого образца ПЭЭК к энтальпии плавления полимера со степенью кристалличности 100 %, равной 130 Дж/г (ГОСТ Р 56757–2015).

Температуру плавления образцов ПЭЭК анализировали методом дифференциальной сканирующей калориметрии по ГОСТ Р 55134–2012, ПТР – по ГОСТ 11645–2021 при температуре 380 °С и нагрузке 5 кг, гранулометрический состав – методом сканирующей электронной микроскопии по стандартной методике ММ 1.595-12-243–2007, насыпную плотность – по ГОСТ 11035.1–93.

Содержание дифенилсульфона в образцах ПЭЭК определяли по методике, основанной на экстракции дифенилсульфона ацетоном в течение 24 ч в аппарате Сокслета, летучих веществ – гравиметрическим методом по ГОСТ 14870–77.

Синтезированные образцы ПЭЭК использовали в качестве термопластичных связующих для изготовления образцов ТПКМ на основе углеродной ткани саржевого плетения марки АСМ С200Т. Плиты ТПКМ изготавливали по порошковой технологии электростатическим методом с одновременной сборкой формовочного пакета и последующим прессованием при температуре 380 °С.

Свойства образцов ТПКМ определяли с использованием следующих методик: плотность – по ГОСТ 15139–69; содержание связующего – по ГОСТ Р 56682–2015; температуру стеклования полимерной матрицы – методом динамического механического анализа по ГОСТ Р 57739–2017; пористость – методом рентгенокомпьютерной томографии по ТР 1.2.2883–2020; температуру изгиба – под нагрузкой по ASTM E2092 и ММ 1.595-11-246–2005; пределы прочности: при растяжении – по ГОСТ 25.601–80, при изгибе – по ГОСТ Р 56805–2015, при межслойном сдвиге на короткой балке – по ГОСТ 32659–2014, при сжатии – по ГОСТ 33519–2015.

Результаты и обсуждение

Характеристики образцов ПЭЭК с различным уровнем ПТР представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики образцов полиэфирэфиркетона (ПЭЭК)

Характеристики	Значения характеристик для образца				
	ПЭЭК-1	ПЭЭК-2	ПЭЭК-3	ПЭЭК-4	ПЭЭК-5
Показатель текучести расплава, г/10 мин	52	111	315	660	1590
Внешний вид	Порошок бежевого цвета				
Температура плавления, °С	335	335	335	336	336
Степень кристалличности, %	47	49	49	49	50
Гранулометрический состав, мкм	177	184	210	169	221
Насыпная плотность, г/см ³	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42
Содержание, %:					
дифенилсульфона	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
летучих веществ	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1

Анализ полученных данных позволяет заключить, что молекулярная масса, а следовательно, вязкость синтезированных экспериментальных образцов ПЭЭК уменьшаются в ряду ПЭЭК-1 – ПЭЭК-2 – ПЭЭК-3 – ПЭЭК-4 – ПЭЭК-5 в соответствии с увеличением ПТР от 52 до 1590 г/10 мин.

Кроме того, в данном ряду увеличивается температура плавления и степень кристалличности синтезированных образцов. Это может быть связано с большей подвижностью коротких цепей макромолекул, в результате чего наблюдается облегчение их ориентации при кристаллизации с образованием более совершенных кристаллических структур.

Об уменьшении молекулярной массы в данном ряду свидетельствует также закономерное снижение температуры стеклования полимерной матрицы в образцах ТПКМ со 145 до 140 °С (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики экспериментальных образцов термопластичных полимерных композиционных материалов (ТПКМ)

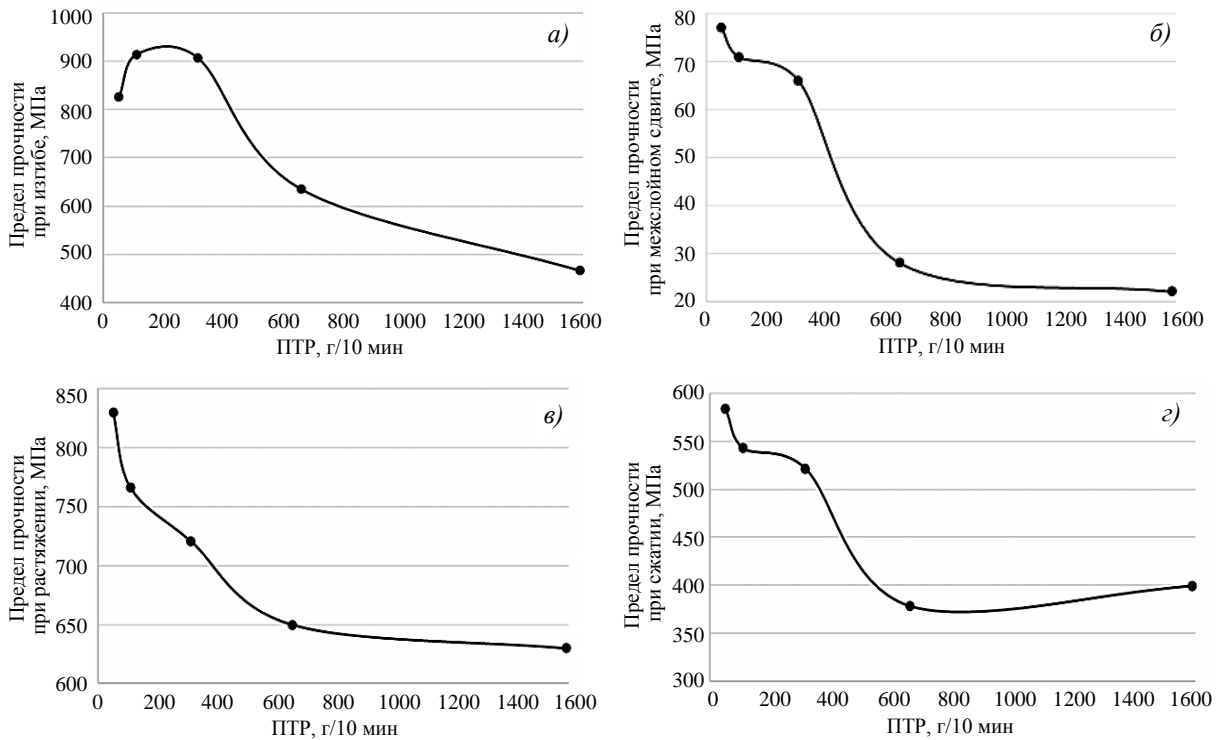
Характеристики	Значения характеристик для образца					
	ТПКМ на основе					углепластика ВКУ-65
	ПЭЭК-1	ПЭЭК-2	ПЭЭК-3	ПЭЭК-4	ПЭЭК-5	
Показатель текучести расплава, г/10 мин	52	111	315	660	1590	50–120
Плотность, г/см ³	1,50	1,52	1,51	1,45	1,48	1,52±0,05
Массовая доля связующего, %	45	44	40	39	38	42±5
Температура стеклования полимерной матрицы, °С	145	145	142	140	140	138±10
Пористость, %	0,05	0,01	0,05	1,09	5,32	–
Температура изгиба под нагрузкой 6 Н (0,45 МПа), °С	325	326	312	305	303	–
Предел прочности, МПа:						
при растяжении	830	766	721	650	630	≥805
при изгибе	826	914	906	635	467	≥850
при межслойном сдвиге	77	71	66	28	22	≥35
при сжатии	584	543	582	378	399	≥600

В связи с существенным увеличением текучести расплавов в исследованном ряду образцов ПЭЭК (ПТР для ПЭЭК-1 и ПЭЭК-5 различаются более чем в 30 раз) ТПКМ изготавливали при разном удельном давлении прессования.

На основе ПЭЭК-связующих с ПТР в диапазоне 52–315 г/10 мин получены образцы ТПКМ с плотностью 1,50–1,52 г/см³, содержанием связующего 40–45 % и пористостью 0,01–0,05 %. При использовании ПЭЭК-связующего с более высоким уровнем ПТР (660 г/10 мин) удельное давление прессования уменьшали, связующего ПЭЭК-5 (ПТР = 1590 г/10 мин) – доводили до минимальных значений. При этом плотность полученных образцов ТПКМ достигла 1,48 г/см³, содержание связующего составило 38 %. Однако в данных образцах наблюдается существенное увеличение пористости до неприемлемых значений (5,32 %).

Таким образом, можно заключить, что используя ПЭЭК-связующее с ПТР >660 г/10 мин, изготовить качественные образцы ТПКМ только за счет снижения удельного давления прессования невозможно. При снижении давления прессования уменьшается плотность и появляется пористость углепластика, а при увеличении – содержание связующего в композите становится ниже допустимого уровня.

На рисунке приведены зависимости изменения деформационно-прочностных характеристик ТПКМ от ПТР использованного ПЭЭК-связующего.



Кривые зависимостей деформационно-прочностных характеристик образцов термопластичных полимерных композиционных материалов на основе полиэфирэфиркетона от показателя текучести расплава (ПТР)

Прежде всего, необходимо отметить высокую термостойкость полученных образцов ТПКМ на основе ПЭЭК-связующих: температура изгиба под нагрузкой 6 Н (0,45 МПа) составила от 303 до 326 °С. Наибольшую термостойкость имеют образцы ТПКМ на основе связующих с меньшей текучестью расплава (ПЭЭК-1 и ПЭЭК-2).

Деформационно-прочностные характеристики углепластика в значительной степени зависят от ПТР связующего. Повышение текучести расплава ПЭЭК-связующего негативно влияет на физико-механические свойства ТПКМ. В исследованном диапазоне ПТР текучесть расплава ПЭЭК-связующего наибольшее влияние оказывает на предел прочности при межслойном сдвиге, уровень которого изменился на ~70 %. Затем в порядке уменьшения влияния следуют пределы прочности при изгибе, при сжатии и при растяжении, уровень которых изменился на ~50, ~30 и ~20 % соответственно. Показательно, что наименьшее влияние текучесть расплава полимерной матрицы оказывает на прочность при растяжении композита, так как при таком испытании большой вклад вносит прочность углеродного волокна.

Вид полученных кривых свидетельствует о степенной зависимости деформационно-прочностных характеристик от ПТР ПЭЭК-связующего.

Физико-механические показатели ТПКМ на основе связующих ПЭЭК-4 и ПЭЭК-5 с уровнем ПТР 660 и 1590 г/10 мин соответственно уступают характеристикам углепластика марки ВКУ-65. Данные образцы не обладают необходимой конструкционной прочностью.

Заключения

Показана зависимость свойств углепластика от ПТР связующего. Установлено, что для получения углепластика с высоким уровнем деформационно-прочностных свойств необходимо использовать ПЭЭК-связующие с ПТР ≤ 300 г/10 мин.

В наибольшей степени текучесть расплава ПЭЭК-связующего влияет на предел прочности при межслойном сдвиге (изменение на ~70 %), в меньшей – на пределы прочности при изгибе (на ~50 %), при сжатии (на ~30 %) и при растяжении (на ~20 %).

Деформационно-прочностные характеристики ТПКМ на основе синтезированных в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ образцов ПЭЭК-связующего с ПТР в диапазоне 50–120 г/10 мин сопоставимы с показателями листового углепластика марки ВКУ-65 на основе ПЭЭК-связующего производства АО «Институт пластмасс».

Список источников

1. Славин А.В., Донецкий К.И., Хрульков А.В. Перспективы применения полимерных композиционных материалов в авиационных конструкциях в 2025–2035 гг. (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 11 (117). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.10.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-81-92.
2. Ерасов В.С., Сибяев И.Г. Схема разработки и оценки свойств конструкционных авиационных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 1 (70). Ст. 05. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 02.10.2023). DOI: 10.18577/2071-9140-2023-0-1-61-81.
3. Старцев В.О., Антипов В.В., Славин А.В., Горбовец М.А. Современные отечественные полимерные композиционные материалы для авиастроения (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 2 (71). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 02.10.2023). DOI: 10.18577/2071-9140-2023-0-2-122-144.
4. Гуняев Г.М., Каблов Е.Н. Конструкционные углепластики на рубеже веков // Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2002. М.: ВИАМ, 2002. С. 242–247.
5. Сорокин А.Е., Иванов М.С., Сагомонова В.А. Термопластичные полимерные композиционные материалы на основе полиэфирэфиркетонов различных производителей // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 1 (66). Ст. 04. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 02.10.2023). DOI: 10.18577/2071-9140-2022-0-1-41-50.
6. Иванов М.С., Сагомонова В.А., Морозова В.С. Отечественный термопластичный углепластик на основе полиэфирэфиркетона // Труды ВИАМ. 2022. № 12 (118). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.10.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-12-49-62.
7. Беев А.А., Хаширова С.Ю., Беева Д.А., Шокумова М.У. Порошкообразные ароматические полиэфирэфиркетоны и сополиэфирэфиркетоны // Пластические массы. 2022. № 7–8. С. 6–9. DOI: 10.35164/0554-2901-2022-7-8-6-9.
8. Микитаев А.К., Саламов А.Х., Беев А.А., Беева Д.А. Наполнение полиэфирэфиркетонов (ПЭЭК) как способ получения композитов с высокими эксплуатационными свойствами // Пластические массы. 2017. № 5–6. С. 6–9. DOI: 10.35164/0554-2901-2017-5-6-6-9.
9. Ляшенко Е.Ю., Яковлева К.А., Андреева Т.И., Прудскова Т.Н., Кравченко Т.П., Горбунова И.Ю., Давидьянц Н.Г. Композиционные материалы на основе полиэфирэфиркетона // Пластические массы. 2023. № 1–2. С. 11–13. DOI: 10.35164/0554-2901-2023-1-2-11-13.
10. Хараев А.М., Бажева Р.Ч. Полиэфирэфиркетоны: синтез, свойства, применение (обзор) // Пластические массы. 2018. № 7–8. С. 15–23. DOI: 10.35164/0554-2901-2018-7-8-15-23.
11. May R. Polyetheretherketones // Encyclopedia of Polymer Science and Technology. Wiley, 2008. P. 1–9. DOI: 10.1002/0471440264.pst266.

12. Способ получения полиэфирэфиркетона: пат. 2673242 Рос. Федерация; заявл. 27.06.18; опубл. 23.11.18.
13. Гуреньков В.М., Горшков В.О., Чеботарев В.П., Прудскова Т.Н., Андреева Т.И. Сравнительный анализ свойств полиэфирэфиркетона отечественного и зарубежного производства // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 3 (56). С. 41–47. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-41-47.
14. Гуреньков В.М., Молоткова Н.Н., Шелонина И.М., Петрова М.А., Горшкова М.Ю., Прудскова Т.Н. Молекулярно-массовые характеристики полиэфирэфиркетона (ПЭЭК): анализ условий определения // *Пластические массы*. 2021. № 11–12. С. 3–6. DOI: 10.35164/0554-2901-2021-11-12-3-6.
15. Богущий В.Б., Шрон Л.Б. К вопросу о применении показателя текучести расплава при переработке полимеров // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2021. Т. 7. № 2. С. 1–8.
16. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.

References

1. Slavin A.V., Donetskiy K.I., Khrulkov A.V. Prospects for the use of polymer composite materials in aircraft structures in 2025–2035 (review). *Trudy VIAM*, 2022, no. 11 (117), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: October 02, 2023). DOI: 10.1877/2307-6046-2022-0-11-81-92.
2. Erasov V.S., Sibayev I.G. Scheme for the development and evaluation of properties of structural aviation composite materials. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 1 (70), paper no. 05. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 02, 2023). DOI: 10.18577/2071-9140-2023-0-1-61-81.
3. Startsev V.O., Antipov V.V., Slavin A.V., Gorbovets M.A. Modern domestic polymer composite materials for aviation industry (review). *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 2 (71), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 02, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
4. Gunyaev G.M., Kablov E.N. Structural carbon fiber reinforced plastics at the turn of the century. *Aviation materials. Selected works of «VIAM» 1932–2002*. Moscow: VIAM, 2002, pp. 242–247.
5. Sorokin A.E., Ivanov M.S., Sagomonova V.A. Thermoplastic polymer composite materials based on polyetheretherketones of various manufacturers. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 04. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 02, 2023). DOI: 10.18577/2071-9140-2022-0-1-41-50.
6. Ivanov M.S., Sagomonova V.A., Morozova V.S. Domestic thermoplastic carbon plastic based on polyetheretherketone. *Trudy VIAM*, 2022, no. 12 (118), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: October 02, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-12-49-62.
7. Beev A.A., Khashirova S.Yu., Beeva D.A., Shokumova M.U. Powdered aromatic polyetheretherketones and copolyetheretherketones. *Plasticheskiye massy*, 2022, no. 7–8, pp. 6–9. DOI: 10.35164/0554-2901-2022-7-8-6-9.
8. Mikitaev A.K., Salamov A.Kh., Beev A.A., Beeva D.A. Filling with polyetheretherketones (PEEK) as a method for producing composites with high performance properties. *Plasticheskiye massy*, 2017, no. 5–6, pp. 6–9. DOI: 10.35164/0554-2901-2017-5-6-6-9.
9. Lyashenko E.Yu., Yakovleva K.A., Andreeva T.I., Prudskova T.N., Kravchenko T.P., Gorbunova I.Yu., Davidyants N.G. Composite materials based on polyetheretherketone. *Plasticheskiye massy*, 2023, no. 1–2, pp. 11–13. DOI: 10.35164/0554-2901-2023-1-2-11-13.
10. Kharaev A.M., Bazheva R.Ch. Polyetheretherketones: synthesis, properties, application (review). *Plasticheskiye massy*, 2018, no. 7–8, pp. 15–23. DOI: 10.35164/0554-2901-2018-7-8-15-23.

11. May R. Polyetheretherketones. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. Wiley, 2008, pp. 1–9. DOI:10.1002/0471440264.pst266.
12. Method for producing polyetheretherketone: pat. 2673242 Rus. Federation; appl. 27.06.18; publ. 23.11.18.
13. Gurenkov V.M., Gorshkov V.O., Chebotarev V.P., Prudskova T.N., Andreeva T.I. Comparative analysis of properties of polyetheretherketone of domestic and foreign production. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 41–47. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-41-47.
14. Gurenkov V.M., Molotkova N.N., Shelonina I.M., Petrova M.A., Gorshkova M.Yu., Prudskova T.N. Molecular mass characteristics of polyetheretherketone (PEEK): analysis of determination conditions. *Plasticheskiye massy*, 2021, no. 11–12, pp. 3–6. DOI: 10.35164/0554-2901-2021-11-12-3-6.
15. Bogutsky V.B., Shron L.B. On the issue of using the melt flow index in polymer processing. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, 2021, vol. 7, no. 2, pp. 1–8.
16. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.

Информация об авторах

Морозова Вероника Сергеевна, техник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Иванов Михаил Сергеевич, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Шестаков Алексей Михайлович, ведущий научный сотрудник, к.х.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Павлюкович Надежда Геннадьевна, ведущий научный сотрудник, к.х.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Veronika S. Morozova, Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Michail S. Ivanov, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Aleksey M. Shestakov, Leading Researcher, Candidate of Sciences (Chem.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Nadezhda G. Pavlukovich, Leading Researcher, Candidate of Sciences (Chem.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 28.11.2023; одобрена и принята к публикации после рецензирования 30.11.2023.
The article was submitted 28.11.2023; approved and accepted for publication after reviewing 30.11.2023.