

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕРМОСТОЙКИХ ТЕРМОПЛАСТОВ

А.В. Саморядов¹, Е.В. Калугина², Е.С. Усенко³, Ю.Г. Паршиков¹, В.В. Битт²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме Российской академии наук, ул. Профсоюзная, д. 65, стр. 6, г. Москва, Россия, 117342

E-mail: mzairan@mzairan.ru

²Общество с ограниченной ответственностью «Группа ПОЛИПЛАСТИК», ул. Генерала Дорохова, д. 14, г. Москва, Россия, 119530

³Общество с ограниченной ответственностью «ТЕХПРОМ-Нефтегазовые системы», Большой бульвар, дом 42, стр.1, пом. 1052, территория инновационного центра «Сколково», г. Москва, 121205

В статье представлены результаты исследований свойств композиционных материалов на основе полифениленсульфида и полиэфирэфиркетона, наполненных стекло- и углеродным волокном. Показано, что исследованные ПКМ имеют практически одинаковый уровень исходных прочностных характеристик, а при повышенных температурах закономерности снижения их свойств носят одинаковый характер и равнозначны как по фактическим значениям, так и их снижению в процентном выражении.

Ключевые слова: полифениленсульфид, полиэфирэфиркетон, углеволокно, реология, прочность

RESEARCH THE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON HIGH TEMPERATURE THERMOPLASTICS

A.V. Samoryadov¹, E.V. Kalugina², E.S. Usenko³, Yu.G. Parshikov¹, V.V. Bitt²

¹Interdepartmental Center for Analytical Research in Physics, Chemistry, and Biology under the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, 117342

E-mail: mzairan@mzairan.ru

²Polyplastic GROUP, General Dorokhov Str., 14, Moscow, Russia, 119530

³Tekhprom – NGS, LLC, Moscow, Russia, 121205

The article presents the results of research on the properties of composite materials based on polyphenylene sulfide and polyesteretherketone filled with glass and carbon fiber. It is shown that the studied composite materials have almost the same level of initial strength characteristics, and at elevated temperatures, the patterns of decrease in their properties have the same nature and are equivalent both in actual values and their decrease in percentage terms.

Keywords: polyphenylene sulfide, polyetheretherketon, carbon fiber, rheokinetic curves, strength

Для цитирования:

Саморядов А.В., Калугина Е.В., Усенко Е.С., Паршиков Ю.Г., Битт В.В. Исследование композиционных материалов на основе высокотермостойких термопластов. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 1. С. 80–87. DOI: 10.6060/rcj.2025691.15.

For citation:

Samoryadov A.V., Kalugina E.V., Usenko E.S., Parshikov Yu.G., Bitt V.V. Research the properties of composite materials based on high temperature thermoplastics. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 1. P. 80–87. DOI: 10.6060/rcj.2025691.15.

ВВЕДЕНИЕ

Сочетание высоких прочностных, электрофизических, эксплуатационных и других свойств с

технологичностью в переработке обеспечило широкое и эффективное применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе высокотермостойких термопластов практически во

всех отраслях промышленности и видов техники [1–4]. Наибольшие объемы мирового производства и применения среди высокотермостойких термопластов приходится на полифениленсульфид (ПФС) и полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) благодаря их высокой прочности, термо-, теплостойкости и огнестойкости [3, 4].

Разработка и освоение с 2018 г. отечественного опытно-промышленного производства ПКМ на основе полифениленсульфида товарного знака ТЕРМОРАН [5] и опытного производства ПЭЭК [6], перерабатываемых высокопроизводительным методом литья под давлением, стимулировало их применение на предприятиях РФ в производстве серийной продукции.

Отечественные ПКМ на основе полифениленсульфида успешно применяются в производстве изделий конструкционного, электротехнического и общего назначения различных видов техники [5], а также взамен прессматериалов типа АГ-4В и ДСВ с высокой технико-экономической эффективностью, обеспечивая снижение трудоемкости изготовления деталей в 10 и более раз при существенном улучшении их качества и эксплуатационной стойкости [7].

Отечественный ПЭЭК производится в наполненном виде с широким диапазоном по вязкости расплава, обеспечивающем его применение в производстве различных изделий, а также в виде ПКМ, наполненного 30 мас.% углеродного волокна марки ПЭЭК-УВ30 и наполненного 40 мас.% стекловолокна марки ПЭЭК-СВ40 [6].

Ранее проведенными работами были подробно исследованы термические, технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства стеклонаполненных композиций полифениленсульфида [5, 8–10], а также термические и технологические характеристики композиций ПФС, наполненных углеродным волокном [11].

В данной работе представлены результаты исследований свойств угле- и стеклонаполненных композиций на основе ПФС и ПЭЭК, перерабатываемых методом литья под давлением.

Для проведения исследований были изготовлены композиции на основе ПФС линейного строения с показателем текучести расплава (ПТР) 300 г/10 мин (температура 320 °С, нагрузка 5 кг), содержащие углеродное волокно в количестве 15, 25, 30 (шифр ПФС УВ-30) и 40 мас.%. На основе ПЭЭК марки РЕЕК VESTAKEEP 1000G (аналог Victrex 150G), имеющего ПТР 146 г/10 мин (380 °С, нагрузка 5 кг), были изготовлены композиции, наполненные 40 мас.% стекловолокна (шифр ПЭЭК

СВ-40) и 30 мас.% углеродного волокна (шифр ПЭЭК УВ-30). В каждую композицию были добавлены антиоксиданты и технологическая смазка.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кривые вязкости и кинетические кривые изменения крутящего момента со временем были получены на ротационном вискозиметре AR2000ex TA Instruments (США) в диапазоне скоростей сдвига от 0,1 до 600 1/с при температуре 320–340 °С для композиций ПФС и при 360–400 °С для композиций на основе ПЭЭК.

Температуры фазовых и релаксационных переходов определяли методом динамического механического анализа (ДМА) на ротационном вискозиметре модели AR2000Ex фирмы TA Instruments (скорость подъема температуры 5 °С/мин.): на образец с частотой 1 Гц прикладывается синусоидальная деформация, составляющая 0,03% от прочности при сдвиге материала образца.

Физико-механические свойства полученных композиций определяли на образцах, изготовленных методом литья под давлением, по гостированным методикам испытаний: плотность – по ГОСТ 15139–69, прочность при разрыве – по ГОСТ 11262-2017, изгибающее напряжение при разрушении – по ГОСТ 4648-2014, модуль упругости при растяжении и изгибе – по ГОСТ 9550-81, ударную вязкость – по ГОСТ 4647-2015, температуру изгиба под нагрузкой 1,8 МПа – по ГОСТ 12021-2017, водопоглощение за 24 часа при 23 °С – по ГОСТ 4650-2014.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Ранее проведенными исследованиями было установлено, что вязкость расплава стекло- и угленаполненных ПФС в диапазоне температур переработки (310–340 °С) монотонно снижается с повышением скорости сдвига и при этом повышение напряжения сдвига в значительно большей степени влияет на вязкость расплава, по сравнению с повышением температуры, что позволяет регулировать текучесть этих ПКМ при переработке литьем под давлением за счет повышения сдвиговых деформаций, реализуемых в реальном процессе переработки литьем под давлением на термопластавтоматах регулированием скорости впрыска [9, 11].

Термостабильность и текучесть расплава стеклонаполненного ПКМ на основе ПЭЭК оценивали по кинетическим кривым изменения крутящего момента от времени при постоянной температуре и характеру течения расплава при температуре 360–400 °С.

Из кинетических кривых изменения крутящего момента со временем при температурах 360, 380 и 400 °С стеклонаполненного ПКМ на основе ПЭЭК видно, что при температуре 360 °С крутящий момент практически не изменяется (рис. 1), что свидетельствует о стабильности вязкости расплава. При температуре 380 °С после 30 мин выдержки имеет место небольшой рост крутящего момента, а при температуре 400 °С наблюдается резкое увеличение крутящего момента уже после 20 мин выдержки.

Из анализа данных рис. 1 следует, что в условиях выдержки в расплаве стеклонаполненного ПЭЭК происходит нарастание вязкости расплава, вследствие протекания процессов сшивки, а термостабильность его расплава при 360 °С составляет порядка 60 минут, при 380 °С и 400 °С - порядка 40 и 20 мин, соответственно. Отметим, что после выдержки при повышенных температурах

цвет ПКМ изменился и стал бежевым (360 °С), коричневым (380 °С) и черным (400 °С).

Вязкость расплава стеклонаполненного ПЭЭК монотонно снижается с повышением скорости сдвига во всем исследованном диапазоне скоростей сдвига при температурах 360-400 °С (рис. 2). Отметим, что с повышением скорости сдвига разница в вязкости расплава, измеренной при 360 и 400 °С сокращается и при максимальной скорости сдвига показатели вязкости становятся практически равными, что свидетельствует о большем влиянии скорости сдвига на показатели текучести стеклонаполненного ПЭЭК по сравнению с температурой.

Реологические характеристики угленаполненного ПЭЭК по характеру и закономерностям изменения вязкости расплава в целом совпадает с данными для стеклонаполненного ПЭЭК, приведенными выше.

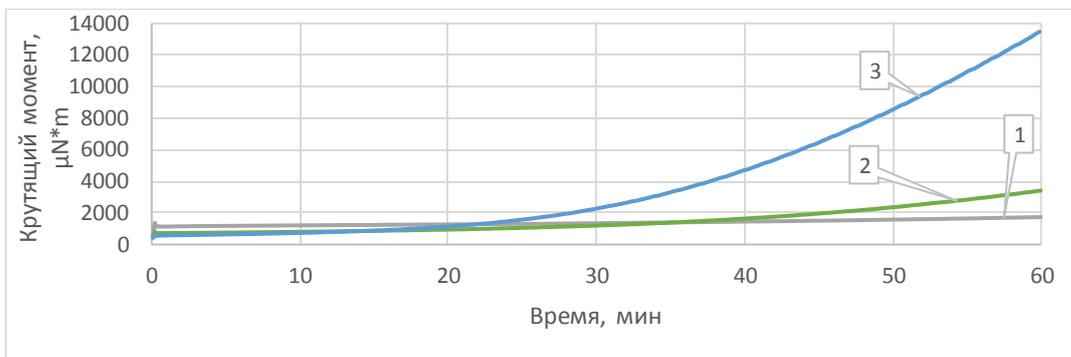


Рис. 1. Зависимость крутящего момента от времени для стеклонаполненного ПЭЭК СВ-40 от времени испытаний при температурах 360 °С (1), 380 °С (2), 400 °С (3)

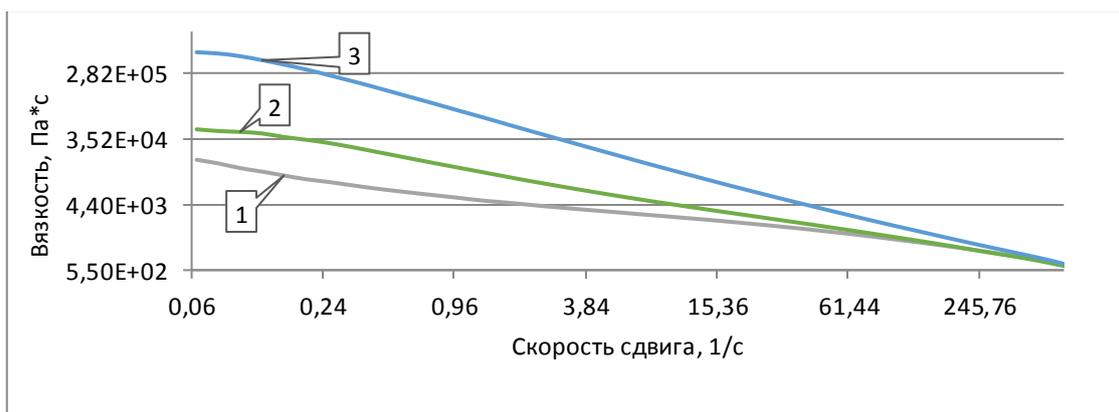


Рис. 2. Зависимость вязкости расплава стеклонаполненного ПЭЭК СВ-40 от скорости сдвига при температурах 360 °С (1), 380 °С (2), 400 °С (3)

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Анализ физико-механических свойств композиций ПФС, наполненных углеродным волокном показывает, что зависимость показателей прочности

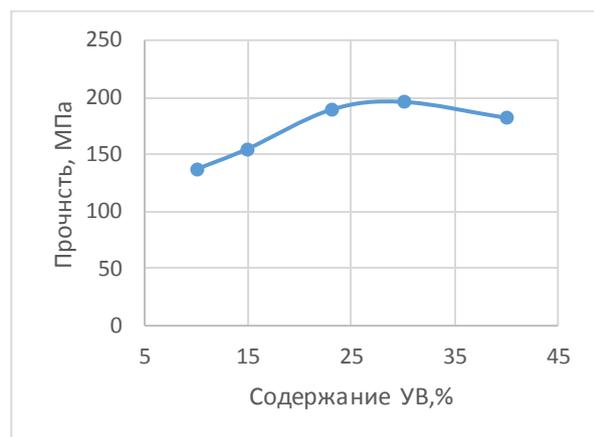
при разрыве и изгибающего напряжения при разрушении, носит экстремальный характер (рис. 3) с максимумом при содержании УВ в пределах 25-30 мас. %.

Снижение указанных механических свойств в композициях ПФС с содержанием углеродного волокна выше 30 мас.% обусловлено более интенсивным изломом волокна, вследствие загущения расплава композиционного материала [11].

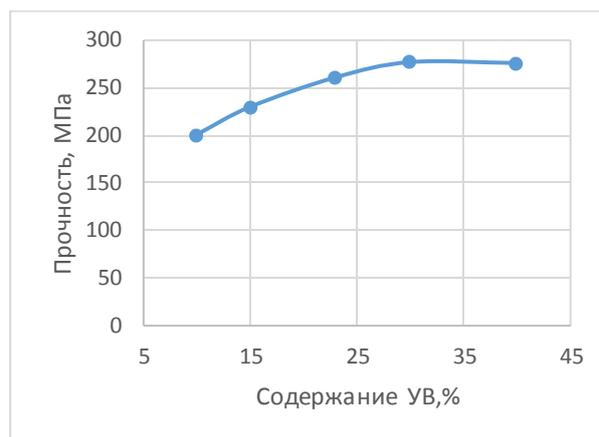
Модули упругости при растяжении и изгибе угленаполненных композиций ПФС с увеличением содержания углеродного волокна прямопропорционально повышаются.

Изготовленный угленаполненный ПФС с

30 мас.% содержанием углеродного волокна (шифр ПФС СВ-30) по основным физико-механическим свойствам, представленным в таблице 1, находится на уровне лучших мировых аналогов, производимых по экструзионной технологии компаундирования: Tedur L9404-3.2 (Albis Plastic GmbH, Германия), DIC PPS CZ-1130 (DIC Co., Япония), Durafide 2130F1 (Polyplastics Co., Япония) и Torayca A630T-30V (Toray R.C., Япония).



а)



б)

Рис. 3. Зависимость прочности при разрыве (а) и изгибающего напряжения при разрушении (б) угленаполненного ПФС от содержания углеродного волокна

Таблица 1

Физико-механические характеристики угленаполненных ПФС

| № | Показатель | ПФС УВ-30 | Tedur L9404-3.2 | DIC PPS CZ-1130 | Durafide 2130F1 | Torayca A630T-30V | Celstran PPS-CF30-01 |
|---|---|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------------|
| 1 | Плотность, г/см ³ | 1,44 | 1,44 | 1,45 | 1,44 | 1,46 | 1,45 |
| 2 | Ударная вязкость по Шарпи на образцах без надреза, кДж/м ² | 39,2 | 29 | 32 | 5,5* | 5,8* | 15* |
| 3 | Прочность при разрыве, МПа | 228 | 190 | 200 | 215 | 236 | 203 |
| 4 | Модуль упругости при растяжении, ГПа | 24,4 | 26,5 | 22,0 | - | - | 31,8 |
| 5 | Изгибающее напряжение при максимальной нагрузке, МПа | 325 | 285 | 290 | 300 | 342 | 339 |
| 6 | Модуль упругости при изгибе, ГПа | 22,5 | 24,5 | 20,0 | 21,2 | 27,8 | 30,1 |
| 7 | Водопоглощение, % | 0,02 | - | 0,02 | 0,04 | - | - |

* - показатель ударной вязкости на образцах с надрезом

Относительно небольшая разница в показателях свойств (табл. 1), на наш взгляд, объясняется использованием производителями ПКМ разных марок исходного ПФС и углеродного волокна, отличающихся по показателям текучести и прочности.

Угленаполненные ПФС, наполненные «длинным» углеродным волокном по пултрузионной технологии, при сравнительно одинаковых

показателях прочности при разрыве и изгибе, имеют более высокие показатели модулей упругости и ударной прочности. Например, у ПКМ марки Celstran PPS-CF30-01 (Celanese, США), приведенной в табл. 1, модули упругости при разрыве и изгибе составляют 31,8 и 30,1 ГПа, а у марки Celstran PPS-CF40-01 (40% углеродного во-

локна) - 37,3 и 34,9 ГПа, соответственно, а показатели ударной вязкости с надрезом таких ПКМ практически более, чем вдвое превышают показатели экструзионных ПКМ.

Вместе с тем, следует отметить, что для реализации высокого уровня свойств ПКМ, наполненных «длинным» волокном, требуется применение специального оборудования для их переработки и строгого соблюдения режимов переработки, а при переработке на обычных термопластавтоматах фактические показатели свойств незначительно превышают показатели экструзионных марок ПКМ.

Сравнение основных физико-механических свойств ПКМ на основе ПЭЭК, предназначенных для литья под давлением (таблицы 2, 3), свидетельствует о том, что полученные нами стекло- и угленасыщенные ПЭЭК, содержащие 40 мас.% стекло (шифр ПЭЭК СВ-40) и 30 мас.% углеродного волокна (шифр ПФС УВ-30) по достигнутым механическим характеристикам превосходят отечественные ПКМ (ПЭЭК-СВ40 и ПЭЭК-УВ30) и находится на уровне лучших мировых аналогов марок Victrex PEEK (Victrex, Великобритания), VESTAKEEP (Evonik Ind. AG, Германия), KetaSpire (Solvay SP, США) и KETRON (Quadrant, США).

Таблица 2

Физико-механические характеристики стеклонаполненных ПЭЭК

| № | Показатель | ПЭЭК СВ-40 | ПЭЭК-СВ40 | Victrex PEEK 90GL30 | VESTAKEEP 2000 GF30 | KetaSpire KT-880 GF30 | KETRON GF30 |
|---|---|------------|-----------|---------------------|---------------------|-----------------------|-------------|
| 1 | Плотность, г/см ³ | 1,61 | - | 1,52 | 1,50 | 1,53 | 1,51 |
| 2 | Ударная вязкость по Шарпи на образцах без надреза, кДж/м ² | 63,4 | - | 45 | 55,0 | 62* | 35 |
| 3 | Прочность при разрыве, МПа | 210 | 178 | 195 | 165 | 174 | 90 |
| 4 | Модуль упругости при растяжении, ГПа | 13,7 | 14,1 | 12,0 | 11,0 | 11,2 | 6,3 |
| 5 | Изгибающее напряжение при максимальной нагрузке, МПа | 295 | - | 290 | - | 239 | - |
| 6 | Модуль упругости при изгибе, ГПа | 13,6 | - | 11,5 | - | 10,6 | - |
| 7 | Водопоглощение, % | 0,3 | - | 0,30 | 0,40 | 0,1 | 0,30 |

Примечание: * - ударная вязкость по Изоду по ISO 180/U

Таблица 3

Физико-механические характеристики угленаполненных ПЭЭК

| № | Показатель | ПЭЭК УВ-30 | ПЭЭК - УВ30 | Victrex PEEK 90CA30 | VESTAKEEP 2000 CF30 | KetaSpire KT-880 CF30 | KETRON® CA30 |
|---|---|------------|-------------|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------|
| 1 | Плотность, г/см ³ | 1,40 | - | 1,40 | 1,38 | 1,41 | 1,41 |
| 2 | Ударная вязкость по Шарпи на образцах без надреза, кДж/м ² | 47,4 | 37 | 45 | 45 | 43 | 35 |
| 3 | Прочность при разрыве, МПа | 228 | 173 | 260 | 240 | 218 | 130 |
| 4 | Модуль упругости при растяжении, ГПа | 24,4 | 17,0 | 27,0 | 23,0 | 25,4 | 7,7 |
| 5 | Изгибающее напряжение при максимальной нагрузке, МПа | 325 | - | 360 | - | 319 | 212 |
| 6 | Модуль упругости при изгибе, ГПа | 22,5 | - | 24,0 | - | 21,5 | - |
| 7 | Водопоглощение, % | 0,30 | - | 0,30 | 0,40 | 0,10 | 0,30 |

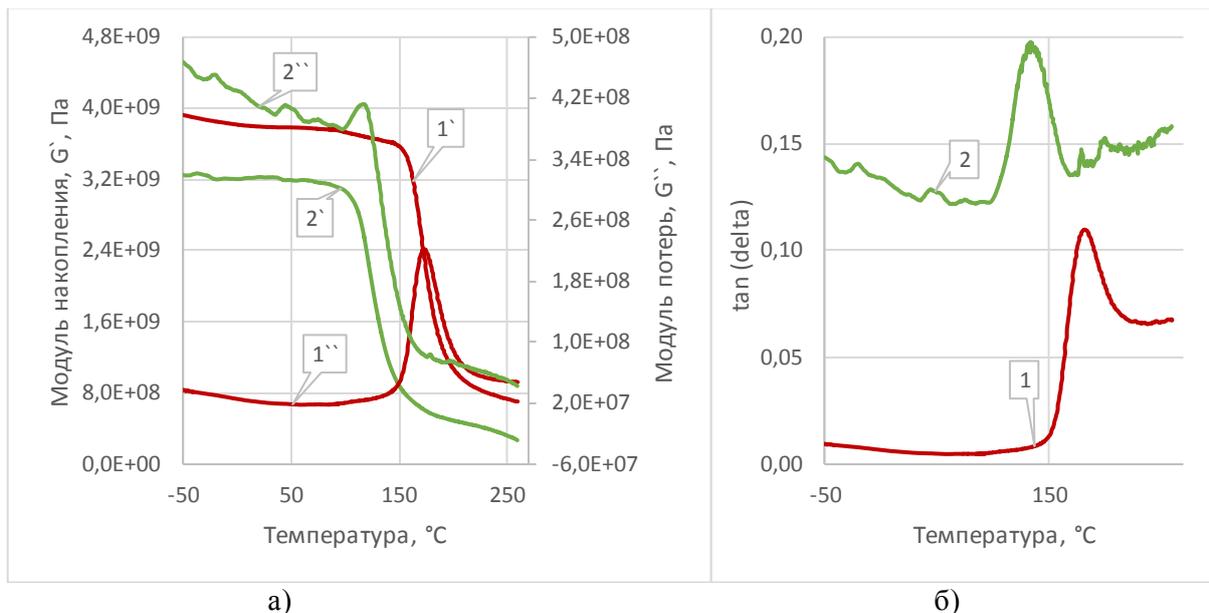


Рис. 4. Результаты изменения а) модуля упругости (1', 2'), модуля потерь (1'', 2'') и б) тангенса угла механических потерь угленаполненного ПЭЭК (1) и ПФС (2)

Из данных табл. 2-3 видно, что стекло- и угленаполненные ПКМ на основе ПФС имеют практически одинаковый уровень исходных прочностных характеристик с материалом на основе ПЭЭК.

Согласно данным динамического механического анализа (рис. 4), у угленаполненного ПКМ на основе ПФС с ростом температуры испытаний модуль упругости образца остается неизменным до температуры ~100 °С, несколько снижается в области 100-150 °С, что обусловлено фазовым переходом (температурная область стеклования) полифениленсульфида, а затем стабилизируется, незначительно снижаясь, вплоть до 250 °С.

У ПКМ на основе ПЭЭК изменение модуля упругости образца имеет аналогичный характер, оставаясь неизменным до температуры ~150 °С, несколько снижается в области температур стеклования при 150-200 °С, и затем стабилизируется практически до 300 °С.

Из представленных на рисунке 4 данных следует, что ПКМ на основе ПФС и ПЭЭК имеют 2 области работоспособности: область относительно низких температур и высоких напряжений и область высоких температур и относительно низких напряжений, что характерно для частично-кристаллических полимеров. Область работоспособности, под которой подразумевают область напряжений и температур, в которой материал способен работать как физически твердое тело, для ПКМ на основе ПФС составляет примерно 90-100 °С, а при небольших нагрузках или в отсутствие таковых практически до температуры 250-260 °С, что хо-

рошо совпадает с ранее полученными результатами [8, 13], а для ПКМ на основе ПЭЭК - до примерно 150 °С и 270-300 °С, соответственно, что также соответствует известным литературным данным [4, 14].

Сравнение фактических показателей прочностных свойств при повышенных температурах (таблица 4), свидетельствует о том, что изменения свойств исследованных ПКМ с повышением температуры испытаний имеют общие закономерности, как по характеру, так и абсолютным величинам снижения свойств. Отметим, что при температурах допустимой длительной эксплуатации, установленной для ПКМ на основе ПФС до 240 °С и ПЭЭК до 270 °С, показатели свойств практически одинаковы как по фактическим значениям, так и их снижению в процентном выражении (табл. 4).

Из вышеизложенного следует, что основным и единственным преимуществом ПКМ на основе ПЭЭК является возможность их применения при температурах на 30-40 °С выше по сравнению с материалами на основе ПФС. А при применении указанных ПКМ для изделий, эксплуатируемых в температурном диапазоне до 240 °С, материалы на основе ПФС обладают очевидными преимуществами, так как характеризуются на порядок более низким влагопоглощением (табл. 2-3), более высокой стойкостью к агрессивным химическим средам, солнечной радиации, существенно лучшей технологичностью в переработке из расплава и на порядок более низкой стоимостью, что обеспечивает высокую технико-экономическую эффективность их применения.

Таблица 4

Характеристика ПКМ на основе ПФС и ПЭЭК [8, 12–14]

| Т, °С | ПКМ на основе ПФС | | ПКМ на основе ПЭЭК | |
|--|-----------------------|-------------------|---------------------------|------------------------|
| | Терморан ПФС СВ-40 | Fortron 1140L4 | KetaSpire KT- 880 CF30 | Victrex PEEK 90GL30 |
| Прочность при разрыве, МПа (%) | | | | |
| 23 | 200 | 195 | 234 (100) | 195 (100) |
| 80 | 157 (78,5) | - | - | - |
| 100 | - | - | 179 (76,5) | - |
| 125 | 90 (45) | - | - | 130 (66,7) |
| 150 | - | - | 112 (47,9) | - |
| 175 | 70 (35) | - | - | 80 (41) |
| 200 | 58 (29) | - | 68 (29,1) | - |
| 225 | - | - | - | 60 (30,8) |
| 240 | 40 (20) | - | - | - |
| 275 | - | - | - | 45 (23,0) |
| Модуль упругости при растяжении, ГПа (%) | | | | |
| 23 | 15670 | 14700 (100) | 24,0 (100) | 27,0 |
| 75 | - | 11900 | - | - |
| 100 | - | - | 23,4 (97,5) | - |
| 130 | 6869 (43,8) | - | - | - |
| 150 | - | 4270 (29,0) | 16,4 (55,8) | - |
| 180 | 5604 (35,8) | - | - | - |
| 200 | 5174 (33) | 3240 | 5,4 (22,5) | - |
| Изгибающее напряжение при максимальной нагрузке, МПа (%) | | | | |
| 23 | - | 285 | 295 | 290 (100) |
| 125 | - | - | - | 210 (72,4) |
| 175 | - | - | - | 115 (39,7) |
| 275 | - | - | - | 75 (25,9) |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены исследования свойств ПКМ на основе ПФС и ПЭЭК, наполненных стекло- и углеродным волокном и установлено, что исследованные ПКМ имеют практически одинаковый уровень исходных прочностных характеристик, а при повышенных температурах закономерности снижения свойств имеют одинаковый характер.

Показано, что основным преимуществом ПКМ на основе ПЭЭК является возможность их применения при температурах на 30-40 °С выше по

сравнению с материаламина основе ПФС, а для изделий, эксплуатируемых в температурном диапазоне до 240 °С, целесообразно использовать материалы на основе ПФС, обеспечивающие более высокую технико-экономическую эффективность их применения.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия, 2006. - 624 с.
2. Михайлин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. - 660 с.
3. Тенденции рынка полифениленсульфида в мире и России. Евразийский химический рынок. 2013. № 10(109). С. 24–30.
4. Мировое производство и рынок полиэфирэфиркетонов. Евразийский химический рынок. 2016. № 5(140). С. 4–27.
5. Саморядов А.В., Иванов В.Б., Калугина Е.В. Рос. хим. ж. 2020. Т. 64. № 4. С. 3–19. DOI: 10.6060/rcj.2020644.1.

REFERENCES

1. Mikhailin Yu.A. Heat-resistant polymers and polymer materials. St. Petersburg: Profession, 2006. - 624 p.
2. Mikhailin Yu.A. Special polymer composite materials. St. Petersburg: Scientific foundations and technologies, 2009. - 660 p.
3. Trends of the polyphenylene sulfide market in the world and Russia. Eurasian Chemical market. 2013. N 10(109). P. 24–30.
4. World production and market of polyesteresterketones. Eurasian chemical market. 2016. N 5(140). P. 4–27.
5. Samoryadov A.V., Ivanov V.B., Kalugina E.V. Ros. Khim. Zh. 2020. V. 64. N 4. P. 3–19. DOI: 10.6060/rcj.2020644..1
6. Polyesteresterketone – NII Plastmass - (Electronic resource) - URL:https://instplast.ru/ru/poliefirfirketon/.

6. Полиэфирэфиркетон – НИИ Пластмасс - (Электронный ресурс) - URL:<https://instplast.ru/ru/poliefirefirketon/>.
7. Щеглов П.А., Самсонов Д.А., Павленков А.Б., Сидоров Ю.М., Саморядов А.В. Пластические массы. 2023. № 3–4. С. 39–43. DOI: 10.35164/0554-2901-2023-3-4-39-43.
8. Саморядов А.В., Калугина Е.В., Битт В.В. Пластические массы. 2019. № 7–8. С. 52–56. DOI: 10.35164/0554-2901-2019-7-8-52-56.
9. Саморядов А.В., Калугина Е.В., Битт В.В. Пластические массы. 2020. № 3–4. С. 42–45. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-3-4-42-45.
10. Саморядов А.В., Битт В.В., Калугина Е.В., Паршиков Ю.Г. Рос. хим. ж. 2024. Т. 68. № 1. С. 3–8. DOI: 10.6060/rcj.2024681.1.
11. Саморядов А.В., Битт В.В., Калугина Е.В., Усенко Е.С. Пластические массы. 2023. № 7–8. С. 3–5. DOI: 10.35164/0554-2901-2023-7-8-3-5.
12. KetaSpire KT-880 CF30 - KetaSpire® PEEK. Design & Processing Guide - (Электронный ресурс) - URL:[https:// solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-07/...](https://solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-07/...)
13. Fortron 1140L4. Fortron® 1140L4 Polyphenylene Sulphide. Celanese Corporation. Technical Data - (Электронный ресурс) - URL:<https://grefeemold.com/wp-content/uploads/2021/12/163-...>
14. Victrex PEEK 90GL30 - VICTREX™ PEEK POLYMER 90GL30. Техническая информация - (Электронный ресурс) - URL:https://russianpolymer.com/pdf/fqYI70_VICTREX-PEEK-...
7. Sheglov P.A., Samsonov D.A., Pavlenkov A.B., Sidorov Yu.M., Samoryadov A.V. Plasticheskie massy. 2023. N 3-4. P. 39–43. DOI: 10.35164/0554-2901-2023-3-4-39-43.
8. Samoryadov A.V., Kalugina E.V., Bitt V.V. Plasticheskie massy. 2019. N 7–8. P. 52–56. DOI: 10.35164/0554-2901-2019-7-8-52-56.
9. Samoryadov A.V., Kalugina E.V., Bitt V.V. Plasticheskie massy. 2020. N 3–4. P. 42–45. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-3-4-42-45.
10. Samoryadov A.V., Bitt V.V., Kalugina E.V., Parshikov Yu.G. Ros. Khim. Zh. 2024. V. 68. N 1. P. 3–8. DOI: 10.6060/rcj.2024681.1.
11. Samoryadov A.V., Bitt V.V., Kalugina E.V., Usenko E.S. Plasticheskie massy. 2023. N 7–8. P. 3–5. DOI: 10.35164/0554-2901-2023-7-8-3-5.
12. KetaSpire KT-880 CF30 - KetaSpire® PEEK. Design & Processing Guide - (Electronic resource) - URL:[https:// solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-07/...](https://solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-07/...)
13. Fortron 1140L4. Fortron® 1140L4 Polyphenylene Sulphide. Celanese Corporation. Technical Data - (Electronic resource) - URL: [https:// grefeemold.com/wp-content/uploads/2021/12/163-...](https://grefeemold.com/wp-content/uploads/2021/12/163-...)
14. Victrex PEEK 90GL30 - VICTREX™ PEEK POLYMER 90GL30. Technical Data - (Electronic resource) -URL:[https:// russianpolymer.com/pdf/fqYI70_VICTREX-PEEK-...](https://russianpolymer.com/pdf/fqYI70_VICTREX-PEEK-...)

Поступила в редакцию (Received) 08.02.2024

Принята к опубликованию (Accepted) 18.04.2024