

Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-12-53-62

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИАРИЛСУЛЬФОНОМ, И ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Р.К. Салахова¹, Е.А. Вешкин¹, Ю.И. Судьин¹, А.Б. Тихообразов¹

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

Аннотация. Предложен состав эпоксидной композиции, модифицированной полиарилсульфоном ПСФФ-30. Исследованы физико-химические и реологические свойства полученного расплавленного связующего. На основе эпоксидно-полисульфонового связующего методом вакуумного формования в печи изготовлены образцы стекло- и углепластиков, изучены прочностные и теплофизические характеристики полимеров. Разработанная модификация эпоксидно-полисульфонового связующего обеспечивает снижение объемной доли пор стеклопластика с тканым наполнителем Т-10-14 в 2,7 раза, углепластика с наполнителем ВТкУ-2.200 – в 2 раза.

Ключевые слова: эпоксидное связующее, полиарилсульфон ПСФФ-30, физико-механические свойства, объемная доля пор, степень отверждения, температура стеклования, стекло- и углепластики

Для цитирования: Салахова Р.К., Вешкин Е.А., Судьин Ю.И., Тихообразов А.Б. Исследование свойств эпоксидных композиций, модифицированных полиарилсульфоном, и полимерных композиционных материалов на их основе // Труды ВИАМ. 2023. № 12 (130). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-12-53-62.

Scientific article

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITIONS MODIFIED WITH POLYARYLSULPHONE AND POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED ON THEM

R.K. Salakhova¹, E.A. Veshkin¹, Yu.I. Sudin¹, A.B. Tikhoobrazov¹

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 composition of an epoxy composition modified with polyarylsulfone PSFF-30 was proposed and the physicochemical and rheological properties of the resulting melt binder were studied. Based on an epoxy-polysulfone binder, glass and carbon fiber plastic samples were made using the vacuum furnace molding method, and the strength and thermophysical characteristics of the polymers were assessed. It has been established that this modification of the epoxy-polysulfone binder reduces the volume fraction of pores in fiberglass with woven filler T-10-14 by 2,7 times, and in carbon fiber with filler VTkU-2.200 – 2 times.

Keywords: epoxy binder, polyarylsulfone PSFF-30, physical and mechanical properties, pore volume fraction, degree of curing, glass transition temperature, glass and carbon plastics

For citation: Salakhova R.K., Veshkin E.A., Sudin Yu.I., Tikhoobrazov A.B. Research of the properties of epoxy compositions modified with polyarylsulphone and polymer composite materials based on them. *Trudy VIAM*, 2023, no. 12 (130), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-12-53-62.

Введение

На пороге шестого технологического уклада мировой экономики перед отечественной наукой поставлена сложная задача – совершить прорыв, позволяющий создать предпосылки для перехода России на новый уровень, перешагнув через пятый уклад [1]. Такой скачок невозможен без формирования научно-технического задела, соответствующего мировым тенденциям развития науки и техники. Особенно это касается высокотехнологичной авиационно-космической отрасли [2–4].

В настоящее время ввиду неуклонного роста доли полимерных композиционных материалов (ПКМ) в авиационной технике научно-технический прогресс отрасли в значительной степени определяется как расширением производства новых видов [5], так и совершенствованием существующих полимерных материалов, в частности за счет модифицирования полимерной матрицы (связующего) [6]. Разработка связующего для композиционных материалов – первостепенная задача, поскольку многие свойства композитов зависят от свойств связующего. Именно матрица связывает волокна друг с другом, создавая монолитный конструкционный материал.

Одно из ведущих мест в авиационной отрасли занимают полимерные материалы на основе терморезистивных связующих, из которых, как правило, изготавливают ответственные несущие конструкции авиатехники. При этом особая роль отводится эпоксидным смолам. Благодаря оптимальному сочетанию физико-химических и теплофизических свойств на их основе разработаны одни из лучших связующих для большинства волокнистых композиционных материалов [7–9].

Терморезистивное связующее представляет собой многокомпонентную систему, в состав которой, помимо смол и отвердителей, входят катализаторы, инициаторы, ускорители или замедлители, а также различные модифицирующие добавки, влияющие на уровень эксплуатационных свойств и улучшающие технологичность композиции.

Для расширения областей применения эпоксидных смол необходимы новые эффективные модификаторы. Научный и практический интерес представляют эпоксидные композиции, модифицированные термопластами, которые содержат дифенилсульфонные фрагменты [10, 11]. Эпоксидные олигомеры, модифицированные конструкционными термопластами, отличаются теплостойкостью, низкой усадкой и высокой адгезией к волокнам, а армированные композиционные материалы на их основе – высоким уровнем деформационно-прочностных характеристик [12–14], что достигается регулированием и упорядочением структуры модифицированных связующих. Среди термостойких полимеров, которые относятся к структурным пластификаторам, особое место занимают ароматические полисульфоны конструкционного назначения, представленные в промышленности тремя видами: полисульфон, полиэфирсульфон и полиарилсульфон [15]. Отличительными особенностями данного класса термопластов являются низкий температурный коэффициент линейного расширения, высокие огнестойкость во многих агрессивных средах и трещиностойкость при высоких напряжениях (вплоть до температуры 150 °С) [16]. Традиционные пластификаторы эпоксидных смол (дибутилфталат, активные разбавители, каучуки), действующие по механизму молекулярной пластификации, позволяют увеличить ударную вязкость и трещиностойкость, но при этом снижают модуль упругости и температуру стеклования [17].

Из перечисленных видов ароматических полисульфонов следует выделить аморфные высокотемпературные полимеры семейства полиарилсульфонов. Благодаря содержанию арил-SO₂-арильных субъединиц полиарилсульфоны наряду с повышенной ударной вязкостью, химической стойкостью и прозрачностью обладают низким влагопоглощением (0,2–0,4 %) и высоким уровнем эксплуатационных характеристик в диапазоне температур от –100 до +200 °С. Из полиарилсульфонов второго поколения

в качестве модификаторов эпоксидных связующих в основном используют ПСФФ-30 и ПСФФ-70. Данные соединения, получаемые методом ароматической нуклеофильной поликонденсации в апротонных растворителях, представляют собой порошкообразные сополимеры, содержащие кардовые фрагменты (объемные боковые циклические группы в повторяющемся звене макромолекулы полисульфона) фенолфталеиновых звеньев в соотношении 30:70. Наличие в рецептуре модификатора фенолфталеина с кардовыми фрагментами позволяет повысить температуру стеклования материала до 10 % и прочность при растяжении до 35 %. Порошковый полиарилсульфон ПСФФ-30 применяют также в качестве матрицы термопласта нового поколения с наполнителем в виде углеродных нанотрубок Таунит-М и технического углерода П-803, эксплуатируемого при температуре >180 °С. Главное достоинство данного вида термопласта – высокий уровень антистатических свойств: материал является проводником, что позволяет снять статическое электричество, возникающее на его поверхности в процессе работы изделия из полимеров.

В настоящее время в России из-за отсутствия необходимой сырьевой базы промышленное производство отечественных конструкционных термостойких термопластов отсутствует. Малотоннажное производство экспериментальных и опытных партий полиэфиркетонов и промышленных партий полисульфона организовано в АО «Институт пластмасс им. Г.С. Петрова» [18, 19].

Цели работы:

- изготовление экспериментальных эпоксидных композиций, модифицированных полиарилсульфоном, и исследование физико-химических и теплофизических свойств расплавных составов;
- исследование влияния термопластичного модификатора ПСФФ-30 на кинетику процесса отверждения эпоксидной композиции;
- получение низкопористых (не более 2 %) стекло- и углепластиков с температурой стеклования не менее 120 °С и исследование физико-химических, механических и теплофизических свойств ПКМ на основе эпоксидно-полисульфонового связующего.

Материалы и методы

Объекты исследования:

- композиция из смеси эпоксидных смол КДА, ЭТФ и отвердителя № 9 (базовый состав расплавного связующего). Смола КДА представляет собой эпоксидно-диановую смолу марки ЭД-20, модифицированную алифатической смолой марки ДЭГ-1;
- эпоксидно-полисульфовые композиции, полученные из базового расплавного связующего путем растворения в смоле КДА полиарилсульфона ПСФФ-30 в количестве 4 и 8 % (по массе);
- образцы углепластика на основе базового и модифицированного полиарилсульфоном связующего с тканым наполнителем ВТкУ-2.200;
- образцы стеклопластика на основе базового и модифицированного полиарилсульфоном связующего с тканым наполнителем Т-10-14.

Для изготовления экспериментальной эпоксидно-полисульфоновой композиции выполняли следующие операции: вакуумирование смол при температуре 130 °С в течение 3 ч, растворение расчетного количества модификатора ПСФФ-30 в смоле КДА, приготовление пасты из отвердителя № 9 и смолы (КДА + ПСФФ-30), смешивание компонентов с помощью лабораторной диспергирующей установки ЛДУ-3МПП при температуре 70 °С и скорости 120 об/мин до однородной массы.

Композиции модифицированной смолы, содержащие 4 и 8 % (по массе) полиарилсульфона, готовили при постоянном перемешивании смеси магнитной мешалкой

при скорости 200 об/мин и температуре 80 °С до образования прозрачной однородной системы. Гомогенность пробы (отсутствие дисперсных частиц) контролировали на оптическом микроскопе ($\times 500$). Увеличение массовой доли полиарилсульфона в композиции ухудшает совмещение модификатора со смолой КДА, приводит к расслоению и потере прозрачности системы, поэтому ограничились добавлением 8 % (по массе) ПСФФ-30. Хотя в ряде публикаций [20, 21], посвященных процессам растворения полисульфонов в эпоксидных смолах, указана концентрация модификатора до 15 % (по массе).

Время гелеобразования полученных расплавных связующих определяли с помощью полимеризационной плитки при температуре 120 ± 2 °С. Вязкость связующего при температуре 58 ± 1 °С измеряли на ротационном вискозиметре с использованием шпинделя № 1.

Реакционную способность эпоксидных композиций, тепловой эффект реакции отверждения исследовали с помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии. Условия проведения испытаний: нагрев от 25 до 320 °С со скоростью 10 °С/мин, охлаждение до 60 °С со скоростью 15 °С/мин, продувка азотом со скоростью 200 мл/мин (степень очистки 99,999 %).

Образцы стекло- и углепластиков размером 150×150 мм изготавливали путем ручной пропитки тканей Т-10-14 и ВТкУ-2.200 (10 слоев под углом 0 градусов к линиям основы) расплавными составами на полимеризационной плитке при температуре 85 °С.

Формование стекло- и углепластиков выполняли в вакуумной печи по ступенчатому режиму нагрева в диапазоне температур 105–160 °С, образцы для исследований подготавливали согласно нормативной документации на испытание.

Испытания на трехточечный изгиб углепластика проводили по ГОСТ 25.604–82, стеклопластика – по ГОСТ 4648–2014. Прочность при межслойном сдвиге стекло- и углепластиков контролировали в соответствии с ОСТ 1-90199–75.

Плотность стекло- и углепластиков определяли методом гидростатического взвешивания, пористость ПКМ оценивали микроскопическим способом путем исследования поперечных микрошлифов с подсчетом видимых пустот.

Степень полимеризации связующего в стекло- и углепластиках определяли методом экстракции с помощью аппарата Сокслета и методом дифференциальной сканирующей калориметрии, сравнивая термограммы до и после отверждения связующего.

Температуру стеклования эпоксидных композиций оценивали методом динамического механического анализа. Условия проведения испытаний: нагрев от 25 до 250 °С со скоростью 5 °С/мин, продувка азотом со скоростью 50 мл/мин (степень очистки 99,999 %), частота 1 Гц, динамическое усилие 6 и 2 Н для угле- и стеклопластиков соответственно, коэффициент нагрузки 1,1, амплитуда деформации 10,00 мкм.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Результаты и обсуждение

Для модификации полиарилсульфоном использовали эпоксидную композицию, аналогичную широко применяемому в производстве полимеров связующему ЭДТ-69Н, кинетика реакции отверждения, прочностные и реологические характеристики которого детально изучены [22].

В табл. 1 представлены физико-химические и теплофизические свойства базового и модифицированных расплавных эпоксидных связующих. Модифицирование смолы полиарилсульфоном ПСФФ-30 незначительно увеличивает время гелеобразования

и практически не влияет на величину теплового эффекта реакций отверждения, т. е. на реакционную способность связующего.

При добавлении в связующее полиарилсульфона вязкость композиции значительно увеличивается. Повышение концентрации полиарилсульфона >8 % (по массе) приводит к аномальной вязкости и тиксотропным изменениям с потерей гомогенности полимерной системы в области температур 70–90 °С, что согласуется с данными работы [23].

Таблица 1

Свойства	Значения свойств для связующего		
	без ПСФФ-30	с ПСФФ-30 в количестве, % (по массе)	
		4	8
Внешний вид	Вязкая однородная масса светло-желтого цвета	Высоковязкая однородная масса светло-желтого цвета	
Время гелеобразования, мин	14	16	18
Тепловой эффект реакции отверждения, Дж/г	492,8	473,7	481,6
Кажущаяся вязкость, Па·с	0,7–0,8*	7–8*	24–26**
Примечание. Скорость вращения шпинделя составила 18* и 5** об/мин.			

Результаты исследования кинетики процессов отверждения связующих приведены на рис. 1. Практически совпадающие показатели термограмм связующих (температурный интервал и тепловой эффект реакции отверждения, температура максимума пика) свидетельствуют об общем механизме протекающих при отверждении химических реакций с образованием пространственно-сетчатой структуры эпоксидных композиций.

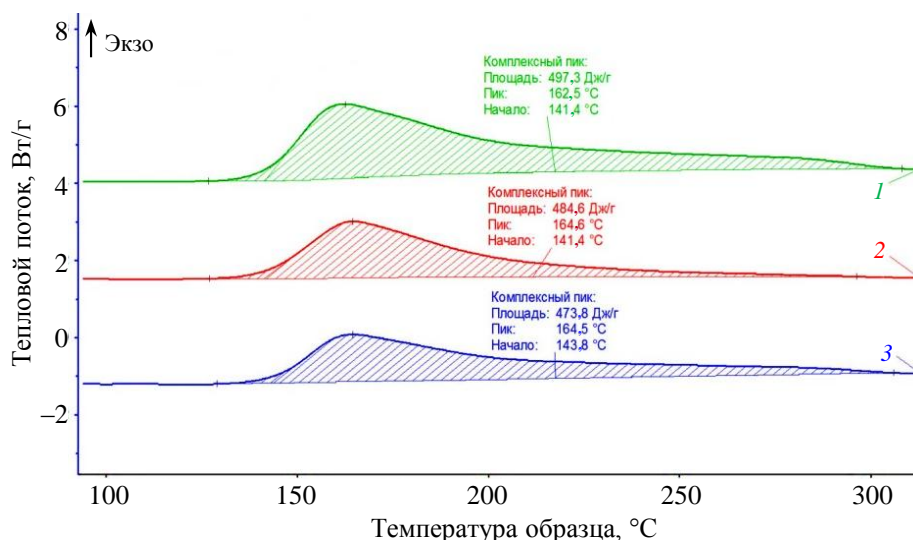


Рис. 1. Кривые дифференциальной сканирующей калориметрии (экзотермические пики) реакций отверждения расплавных эпоксидных связующих: 1 – базовое; 2, 3 – с содержанием полиарилсульфона 4 и 8 % (по массе)

Эпоксидно-полисульфоновые композиции разработанных рецептур использовали для пропитки тканых наполнителей Т-10-14 и ВТкУ-2.200 с последующим формованием образцов стекло- и углепластиков в вакуумной печи.

Одним из недостатков терморезистивных армированных пластиков является хрупкость. Для повышения уровня упругоэластических свойств полученных ПКМ эпоксидные композиции модифицировали полиарилсульфоном. В волокнистых композиционных материалах матрице отводится особая роль, так как именно она обеспечивает равномерную нагрузку вдоль волокон и перераспределяет действующие напряжения по всему объему, фиксирует форму изделия, взаимное расположение армирующих волокон и определяет теплостойкость ПКМ.

Результаты исследования механических, физико-химических и теплофизических свойств стекло- и углепластиков представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Свойства стеклопластика на основе эпоксидной композиции с тканым наполнителем Т-10-14

Свойства	Значения свойств для связующего		
	без ПСФФ-30	с ПСФФ-30 в количестве, % (по массе)	
		4	8
Плотность, г/см ³	1,65	1,65	1,67
Предел прочности при трехточечном изгибе, МПа	580	590	695
Прочность при межслойном сдвиге, МПа	45	45	46
Объемная доля пор, %	5,3	4,6	2,0
Степень отверждения, %, измеренная:			
на аппарате Сокслета	99,3	99,3	99,7
методом дифференциальной сканирующей калориметрии	97,4	97,2	97,5
Температура стеклования, °С	115,3	120,7	121,2

Таблица 3

Свойства углепластика на основе эпоксидной композиции с тканым наполнителем ВТкУ-2.200

Свойства	Значения свойств для связующего		
	без ПСФФ-30	с ПСФФ-30 в количестве, % (по массе)	
		4	8
Плотность, г/см ³	1,46	1,47	1,48
Предел прочности при трехточечном изгибе, МПа	625	660	695
Прочность при межслойном сдвиге, МПа	44	44	45
Объемная доля пор, %	3,6	2,5	1,9
Степень отверждения, %, измеренная:			
на аппарате Сокслета	99,1	99,3	99,8
методом дифференциальной сканирующей калориметрии	97,5	97,6	97,9
Температура стеклования, °С	121,5	122,0	122,5

Использование эпоксидно-полисульфонового связующего наиболее результативно и предпочтительно для изготовления стеклопластика (рис. 2): предел прочности при изгибе при добавлении ПСФФ-30 увеличился на ~20 % (против 11 % для углепластика), температура стеклования повысилась на 6 °С (для углепластика практически не изменилась).

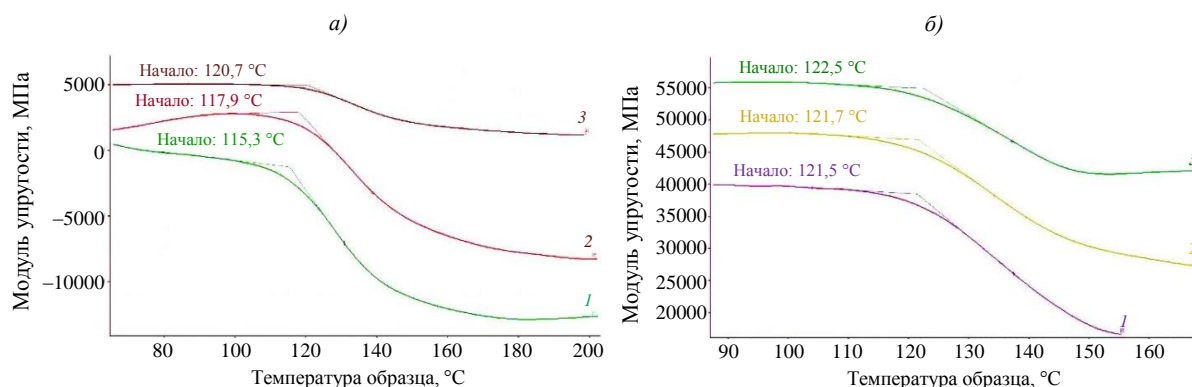


Рис. 2. Кривые динамического механического анализа зависимости модуля упругости от температуры для стекло- (а) и углепластиков (б) на основе эпоксидных связующих: 1 – базовое; 2, 3 – с содержанием полиарилсульфона 4 и 8 % (по массе)

Степень отверждения как эпоксидных, так и эпоксидно-полисульфовых связующих составила $\geq 97\%$ (рис. 3).

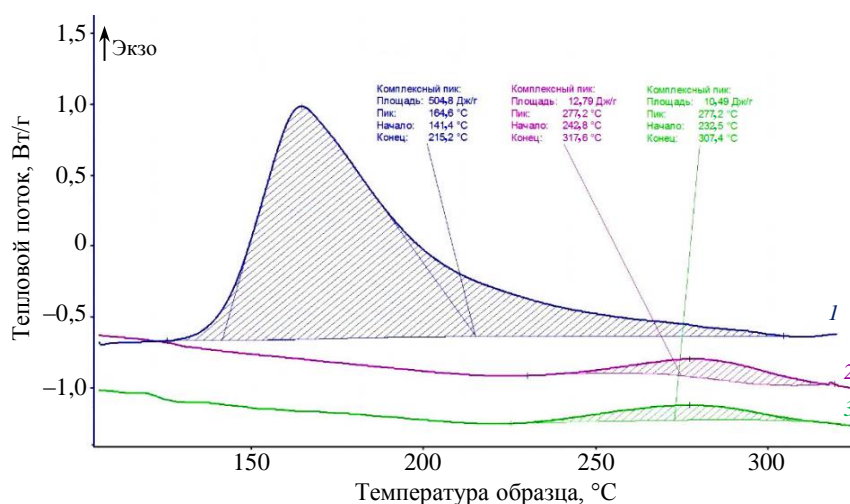


Рис. 3. Кривые дифференциальной сканирующей калориметрии реакций отверждения эпоксидного связующего с содержанием 8 % (по массе) полиарилсульфона (1), а также угле- (2) и стеклопластиков (3) на его основе

При использовании в качестве связующего модифицированной эпоксидной композиции отмечено значительное снижение пористости стекло- и углепластиков (в ~2–2,6) раза), причем наблюдается прямая зависимость пористости ПКМ от концентрации полиарилсульфона в связующем. Этот факт позволяет предположить, что полиарилсульфон ПСФФ-30 выполняет функциональную роль структурного пластификатора связующего, повышающего трещиностойкость полимерной матрицы за счет частичной релаксации остаточных напряжений. В работе [24], посвященной исследованию эпоксидных связующих, модифицированных полисульфоном ПСК-1, механизм пластификации с изменением структуры на молекулярном уровне назван «молекулярной пластификацией».

Заключения

Получено экспериментальное многокомпонентное эпоксидно-полисульфоновое связующее с термопластичным модификатором ПСФФ-30. Содержание полиарилсульфона ПСФФ-30 до 8 % (по массе) обеспечивает полную гомогенизацию полимерной матрицы и снижение пористости стеклопластика в 2,7 раза, углепластика – в 2 раза. Результаты исследования комплекса свойств ПКМ подтвердили, что эпоксидную композицию, модифицированную полиарилсульфоном, можно использовать в качестве связующего при изготовлении экспериментальных образцов стеклопластика. Следует продолжить исследования в этом направлении, в частности провести поиск альтернативных модификаторов эпоксидных смол взамен полиарилсульфонов, относящихся к продукции малотоннажной химии.

Список источников

1. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // Наука и жизнь. 2010. № 4. С. 2–7.
2. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 5. С. 7–17.
3. Каблов Е.Н. К 80-летию ВИАМа // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 5. С. 79–82.
4. Салахова Р.К., Тихообразов А.Б., Смирнова Т.Б., Кирилин С.Г. Никелирование угле- и стеклопластика в целях повышения эрозионной стойкости конструкций из ПКМ // Упрочняющие технологии и покрытия. 2021. Т. 17. № 5 (197). С. 221–227.
5. Салахова Р.К., Тихообразов А.Б., Смирнова Т.Б., Кирилин С.Г. Химико-гальваническая металлизация угле- и стеклопластика // Гальванотехника и обработка поверхности. 2020. Т. 28. № 3. С. 13–21.
6. Раскутин А.Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.
7. Воробьев А. Эпоксидные смолы // Компоненты и технологии. 2003. № 8. С. 170–173.
8. Петрова А.П., Мухаметов Р.Р. Связующие для полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных олигомеров // Клеи. Герметики. Технологии. 2018. № 7. С. 21–27.
9. Каблов Е.Н., Чурсова Л.В., Бабин А.Н., Мухаметов Р.Р., Панина Н.Н. Разработки ФГУП «ВИАМ» в области расплавных связующих для полимерных композиционных материалов // Полимерные материалы и технологии. 2016. Т. 2. № 2. С. 37–42.
10. Сопотов Р.И., Горбунова И.Ю., Онучин Д.В. и др. Влияние модификаторов полисульфона и полиэфирсульфона на термомеханические свойства эпоксиаминного связующего // Успехи в химии и химической технологии. 2015. Т. 29. № 10. С. 62–64.
11. Сергеева Е.А., Абдуллин И.Ш., Зенитова Л.А., Костина К.Д. Анализ способов модификации волокнистых материалов // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 20. С. 164–167.
12. Копицына М.Н., Бессонов И.В., Котомин С.В. Трещиностойкость эпоксидных связующих, модифицированных термопластичным полисульфоном и фурфуролацетоновой смолой // Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. № 12. С. 1–9.
13. Старостина И.В., Петрова А.П., Шевченко Ю.Н., Шишимиров М.В. Контроль термопластичных связующих для композиционных термопластичных материалов (обзор) // Труды ВИАМ. 2019. № 4 (76). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 09.08.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-4-99-107.
14. Солодилов В.И., Корохин Р.А., Горбаткина Ю.А., Куперман А.М. Органопластики на основе сложных гибридных матриц, включающих в качестве модификаторов эпоксидных смол полисульфон и углеродные нанотрубки // Химическая физика. 2012. Т. 31. № 6. С. 63–71.
15. Хасбулатова З.С. Ароматические полисульфоны // Пластические массы. 2009. № 4. С. 20–23.

16. Штейберг Е.М., Сергеева Е.А., Зенитова Л.А., Абдуллин И.Ш. Применение и производство полисульфона. Обзор // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 20. С. 168–171.
17. Бородулин А.С. Пластификаторы для эпоксидных клеев и связующих // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. № 7. С. 31–35.
18. Каблов Е.Н., Семенова Л.В., Петрова Г.Н., Ларионов С.А., Перфилова Д.Н. Полимерные композиционные материалы на термопластичной матрице // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2016. Т. 59. Вып. 10. С. 61–71.
19. Гуреньков В.М., Горшков В.О., Чеботарев В.П., Прудкова 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.
20. Костромина Н.В., Олихова Ю.В., Малаховский С.С., Горбунова И.Ю. Разработка эпоксидных связующих, модифицированных термостойкими термопластами, для создания армированных композиционных материалов // Пластические массы. 2022. № 9–10. С. 17–19.
21. Беседнов К.Л., Бабин А.Н., Гребенева Т.А., Ткачук А.И., Плешаков Д.В. Исследование процессов растворения полисульфонов в эпоксидных смолах // Успехи в химии и химической технологии. 2016. Т. 30. № 8. С. 15–17.
22. Загора А.Г., Ткачук А.И., Терехов И.В., Мухаметов Р.Р. Методы химической модификации эпоксидных олигомеров (обзор) // Труды ВИАМ. 2021. № 7 (101). Ст. 08 URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 23.08.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-7-73-85.
23. Мишкин С.И., Клименко О.Н., Куцевич К.Е. Определение липкости препрегов на основе углеродных наполнителей методом зондирования // Труды ВИАМ. 2022. № 3 (109). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.08.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-35-43.
24. Малышева Г.В., Ахметова Э.Ш., Марычева А.Н. Оценка температуры стеклования эпоксидных связующих, модифицированных полисульфоном // Физика и химия стекла. 2014. Т. 40. № 5. С. 718–724.

References

1. Kablov E.N. The sixth technological structure. *Nauka i zhizn*, 2010, no. 4, pp. 2–7.
2. Kablov E.N. The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period to 2030. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. S, pp. 7–17.
3. Kablov E.N. To the 80th anniversary of VIAM. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2012, vol. 78, no. 5, pp. 79–82.
4. Salakhova R.K., Tikhobrazov A.B., Smirnova T.B., Kirilin S.G. Nickel plating of carbon and fiberglass in order to increase the erosion resistance of PCM structures. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*, 2021, vol. 17, no. 5 (197), pp. 221–227.
5. Salakhova R.K., Tikhobrazov A.B., Smirnova T.B., Kirilin S.G. Chemical-galvanic metallization of carbon and fiberglass. *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*, 2020, vol. 28, no. 3, pp. 13–21.
6. Raskutin A.E. Development strategy of polymer composite materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.
7. Vorobyov A. Epoxy resins. *Komponenty i tekhnologii*, 2003, no. 8. pp. 170–173.
8. Petrova A.P., Mukhametov R.R. Binders for polymer composite materials based on epoxy oligomers. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2018, no. 7, pp. 21–27.
9. Kablov E.N., Chursova L.V., Babin A.N., Mukhametov R.R., Panina N.N. Developments of FSUE «VIAM» in the field of melt binders for polymer composite materials. *Polimernye materialy i tekhnologii*, 2016, vol. 2, no. 2, pp. 37–42.
10. Sopotov R.I., Gorbunova I.Yu., Onuchin D.V. et al. The influence of polysulfone and polyether-sulfone modifiers on the thermomechanical properties of an epoxyamine binder. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2015, vol. 29, no. 10, pp. 62–64.
11. Sergeeva E.A., Abdullin I.Sh., Zenitova L.A., Kostina K.D. Analysis of methods for modifying fibrous materials. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, vol. 18, no. 20, pp. 164–167.

12. Kopitsyna M.N., Bessonov I.V., Kotomin S.V. Crack resistance of epoxy binders modified with thermoplastic polysulfone and furfural acetone resin. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii*, 2016, no. 12, pp. 1–9.
13. Starostina I.V., Petrova A.P., Shevchenko Yu.N., Shishimirov M.V. Control thermoplastic binding for PCM (review). *Trudy VIAM*, 2019, no. 4 (76), paper no. 11. Available at: <http://viam-works.ru> (accessed: August 09, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-4-99-107.
14. Solodilov V.I., Korokhin R.A., Gorbatkina Yu.A., Kuperman A.M. Organoplastics based on complex hybrid matrices, including polysulfone and carbon nanotubes as epoxy resin modifiers. *Khimicheskaya fizika*, 2012, vol. 31, no. 6, pp. 63–71.
15. Khasbulatova Z.S. Aromatic polysulfones. *Plasticheskiye massy*, 2009, no. 4, pp. 20–23.
16. Shteiberg E.M., Sergeeva E.A., Zenitova L.A., Abdullin I.Sh. Application and production of polysulfone. Review. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012, vol. 15, no. 20, pp. 168–171.
17. Borodulin A.S. Plasticizers for epoxy adhesives and binders. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2012, no. 7, pp. 31–35.
18. Kablov E.N., Semenova L.V., Petrova G.N., Larionov S.A., Perfilova D.N. Polymer composite materials on a thermoplastic matrix. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2016, vol. 59, is. 10, pp. 61–71.
19. 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 tekhnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 41–47. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-41-47.
20. Kostromina N.V., Olikhova Yu.V., Malakhovsky S.S., Gorbunova I.Yu. Development of epoxy binders modified with heat-resistant thermoplastics for the creation of reinforced composite materials. *Plasticheskiye massy*, 2022, no. 9–10, pp. 17–19.
21. Besednov K.L., Babin A.N., Grebeneva T.A., Tkachuk A.I., Pleshakov D.V. Study of the dissolution processes of polysulfones in epoxy resins. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2016, vol. 30, no. 8, pp. 15–17.
22. Zagora A.G., Tkachuk A.I., Terekhov I.V., Mukhametov R.R. Methods of chemical modification of epoxy oligomers (review). *Trudy VIAM*, 2021, no. 7 (101), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 23, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-7-73-85.
23. Mishkin S.I., Klimenko O.N., Kutcevic K.E. Determination of stickiness of prepregs on the basis of carbon fillers the sounding method. *Trudy VIAM*, 2018, no. 3 (109), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 17, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-35-43.
24. Malysheva G.V., Akhmetova E.Sh., Marycheva A.N. Estimation of the glass transition temperature of epoxy binders modified with polysulfone. *Fizika i khimiya stekla*, 2014, vol. 40, no. 5, pp. 718–724.

Информация об авторах

Салахова Розалия Кабировна, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Вешкин Евгений Алексеевич, начальник УНТЦ, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Судьин Юрий Иванович, инженер-технолог, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Тихообразов Андрей Борисович, ведущий инженер-технолог, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Rosalia K. Salakhova, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Evgeniy A. Veshkin, Head of USTC, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Yuri I. Sudin, Engineer-technologist, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Andrey B. Tikhobrazov, Leading Engineer-technologist, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 02.10.2023; одобрена и принята к публикации после рецензирования 24.10.2023.
The article was submitted 02.10.2023; approved and accepted for publication after reviewing 24.10.2023.