



УДК 667.621:678.8

doi: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-5-5

**ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ
ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Э.Я. Бейдер

кандидат технических наук

Г.Н. Петрова

кандидат технических наук

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

doi: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-5-5

Приведены свойства термопластичных связующих на основе суперконструкционных термопластов. Описан алгоритм действий при выборе связующих на основе термопластов для получения ПКМ.

На примере полисульфона изучено влияние молекулярной массы на теплофизические, механические и реологические свойства термопластичных связующих. Показано влияние физического состояния связующего (порошок, пленка, волокно, гранулы) на технологию получения препрегов ПКМ.

Ключевые слова: термопластичное связующее, полисульфон, препрег, композит, технология формования препрегов.

E.Y. Beyder, G.N. Petrova

The thermoplastic binder for polymeric composite materials

Properties of thermoplastic binder on the basis of superstructural thermoplastics are given in the article. The algorithm of actions is described at selection of binder on the basis of thermoplastics for manufacture of PCM.

On example of polysulphone the influence of molecular weight on thermal-physical, mechanical and rheological properties of the thermoplastic binder is studied. Influence of physical condition of binder (powder, film, fiber, granules) on manufacturing technology of prepregs of PCM is shown.

Keywords: thermoplastic binder, polysulphone, prepreg, composite, technology of formation of prepregs.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Введение

Развитие различных отраслей промышленности и прежде всего авиа- и автомобилестроения неразрывно связано с созданием новых конструкционных материалов [1–11]. Существенный вклад в улучшение характеристик машин и конструкций вносят полимерные композиционные материалы (ПКМ), армированные непрерывными стеклянными, углеродными, базальтовыми, полимерными и другими волокнами [5, 7, 12–34]. Более 40 лет в качестве полимерной матрицы использовались термореактивные материалы. Однако многокомпонентность термореактивных связующих, их ограниченная жизнеспособность, длительность процесса отверждения, многооперационность процесса переработки, недостаточная воспроизводимость свойств материалов, сложность утилизации брака и отходов переработки, наличие растворителей при их переработке стимулировали поиски использования в качестве связующих термопластичных материалов [5, 6, 8, 13, 14, 21–23, 25, 29, 32, 33, 35].

Применение термопластичных матриц в составе композиционных термопластичных материалов (КТМ) обеспечивает ряд преимуществ:

- присутствие связующего с заданной молекулярной массой и завершенной химической структурой;
- неограниченный срок хранения полуфабриката (препрега, листа);
- отсутствие длительного процесса отверждения;
- способность к релаксации напряжений;
- возможность вторичной переработки;
- отсутствие выделения растворителей;
- взрывобезопасность;
- нетоксичность.

В связи с кратковременностью нагрева заготовок процесс формования деталей из КТМ менее трудоемок, особенно в условиях крупномасштабного производства. Это упрощает получение деталей сложной конфигурации, повышает производительность оборудования, создавая предпосылки для его автоматизации.

Применение КТМ в авиастроении способствовало замене мелких деталей на более крупные, в 1,5 раза уменьшая их количество и сокращая объем сборочных работ. По опубликованным данным замена металлических (алюминиевых) деталей на детали из ПКМ (КТМ) позволяет снизить их массу на 22% и сократить расходы при эксплуатации на 17% [7, 14, 20, 29, 36].

Выпускаемые термопластичные полимеры делят на три группы:

- материалы общего назначения;
- материалы инженерно-технического назначения;
- суперконструкционные материалы.

Среди термопластов выделяют особую, так называемую «функциональную», группу – термоэластопласты, которые по технологическим свойствам относятся к термопластам, а по деформационным – к резинам и каучукам [37–42].

В качестве связующих в композиционных материалах могут быть использованы любые термопласты, допускающие технологические операции изготовления из них препрегов с последующим формованием деталей [5, 6, 13, 14, 22, 29, 43]. В данной статье рассматриваются структура и свойства термопластов инженерно-технического назначения и суперконструкционных термопластов, а также основные способы их совмещения с непрерывным наполнителем.

Материалы и методы

Рассмотрены свойства суперконструкционных термопластов и термопластов инженерно-технического назначения. Испытания проводили на стандартных образцах, полученных вырубкой из пленок или изготовленных литьем под давлением на термопластавтомате фирмы Arburg.

Оценку физико-механических, реологических и других свойств проводили по следующим методикам:

- разрушающее напряжение при сжатии (ГОСТ 23206–78);
- напряжение при растяжении и относительное удлинение при разрыве (ГОСТ 17370–71);
- модуль упругости при растяжении (ГОСТ 9550–81);
- удельная ударная вязкость (ГОСТ 4647–80);
- вязкость расплава термопластов рассчитывали по методике СТП1-595-16-156–85;
- диэлектрические свойства (ГОСТ 64331–71).

Результаты

Структура и основные свойства термопластов, наиболее перспективных для использования в качестве связующих (матриц) КТМ, приведены в табл. 1 и 2 [5, 14, 29, 36, 44, 45]. Видно, что по теплостойкости и механическим свойствам суперконструкци-

онные термопласты не уступают терморезактивным полимерам, а по стойкости к удару и влагопоглощению превосходят их в 3–10 раз (см. табл. 2).

Известно, что технологические и физико-механические свойства полимеров (термопластов) в значительной степени определяются их молекулярной массой [29, 46]. В табл. 3 показано влияние молекулярной массы на механические и реологические свойства полисульфона. Видно, что механические свойства термопластичных связующих зависят как от молекулярной массы (M_w), так и от способа их переработки. С ростом M_w теплостойкость, прочность и деформация полисульфонового связующего увеличивается, а вязкость расплава повышается при $M_w < 39000$ г/моль. Изготовленные способом прессования образцы получаются жесткие, у них отсутствует предел текучести при растяжении.

Таблица 1

Структура и теплофизические свойства термопластичных матриц

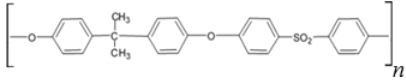
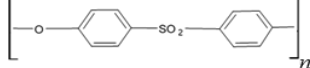
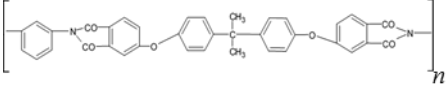
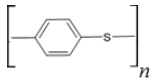
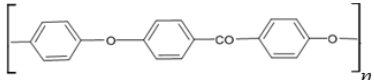
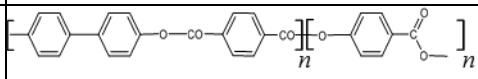
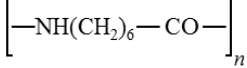
Матрица	Структура	Температура, °С		
		стеклования	плавления	переработки
Полисульфон		190	–	300–350
Полиэфирсульфон		230	–	310–370
Полиэфиримид		217	–	340–400
Полифениленсульфид		90	290	315–340
Полиэфирэфиркетон		143	343	370–400
Жидкокристаллический термопласт		220	280	320–360
Полиамид-6		–	225	250–270

Таблица 2

Физико-механические свойства термопластичных матриц

Матрица	Плотность, кг/м ³	$\sigma_{в}$		E , ГПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Удельная ударная вязкость, Дж/м ²	$G_{1с}$, кДж/м ²
		МПа					
Полиамид-6	1130	60	92	0,9	125	110	–
Поликарбонат	1200	65	85	–	100	110	–
Полисульфон	1240	70	230	2,3	75	100	2,6–3,2
Полиэфирсульфон	1370	84	240	2,4	45	80	1,9–2,6
Полиэфиримид	1290	105	148	3	3	80	2,0–3,0
Полифениленсульфид	1340	90	148	3,8	9	–	–
Полиэфирэфиркетон	1300	100	–	3,4	–	50	4,80
Жидкокристаллический термопласт	1400	126	–	10–13	4	40	–
Эпоксидная смола «Феорезекс»	–	70	–	3,2	3	7	0,1–0,15

Таблица 3

Влияние молекулярной массы на свойства полисульфона

Молекулярная масса, г/моль	Предел текучести при разрыве, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	σ_B , МПа	δ , %	Удельная ударная вязкость, кДж/м ²	ПТР*, г/10 мин	Температура, °С	
							стеклования	деструкции
25000**	–	–	70	6,3	–	>20	40	320
31000**	–	–	70	6,4	–	14	50	330
39000**	–	–	70	9,5	–	3	95	350
42500**	–	–	76	7,7	43,4	2,5–3	130	360
49000**	70	5	81	9,5	93	–	180	360
49000***	79	7,5	62,5	65	110	–	180	–

* ПТР – показатель текучести расплава определен при температуре 280°С и нагрузке 10,6 кг.

** Образцы для испытаний формовали прессованием из гранул.

*** Образцы для испытаний формовали литьем под давлением.

Приведенные в табл. 1–3 физико-механические, технологические и теплофизические свойства термопластов являются необходимыми, но недостаточными характеристиками при выборе материала матрицы. Огромное значение имеют и способ получения связующего, и технология совмещения связующего с наполнителем.

Влияние молекулярной массы и технологии получения связующего на свойства термопластичных угле- и стеклопластиков показано в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Влияние молекулярной массы на свойства полисульфона и углепластика (наполнитель – углеродная лента ЭЛУР-0,08П) на его основе [29, 46]

Молекулярная масса, г/моль	ПТР*, г/10 мин	Полисульфон: $\sigma_{разр}$	Углепластик: $\sigma_{в.сж}$
		МПа	
36000	9	55	840
37500	7	60	825
46000	0,5	55	600

* ПТР – показатель текучести расплава определен при температуре 280°С и нагрузке 10,6 кг.

Таблица 5

Влияние молекулярной массы и способа получения связующего на свойства термопластичного стеклопластика (стеклоткань марки Т15(П)-76 без аппрета)

Связующее-полисульфон	Молекулярная масса, г/моль	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{в.и}$
		МПа	
Пленка экструзионная	34000	980	480
	41500	340	–
	45000	310	450
Пленка поливная	45000	190	320
	45000*	410	540
Порошок	39000	320	440

* Стеклоткань марки Т15(П)-76 с аппретированием.

Из приведенных в табл. 4 данных видно, что с ростом значений молекулярной массы прочность связующего увеличивается, тогда как прочность углепластика снижается, что связано с увеличением вязкости расплава связующего.

Аналогичные результаты получены при испытании термопластичного стеклопластика. Способ получения термопластичного связующего, его «предыстория» и наличие аппрета значительно сказываются на механических свойствах КТМ.

Совмещение термопластичных матриц с непрерывным наполнителем можно осуществлять различными способами [5, 29].

Наиболее широко известны растворная, пленочная, электронно-ионная (порошковая) и волоконная технологии [12, 13, 16, 17].

Растворная технология основана на двух- или трехкратной пропитке наполнителя раствором связующего.

Известно, что вязкость расплава термопластов зависит от их молекулярной массы [29, 46]. Аналогичная зависимость наблюдается и для растворов термопластов (рис. 1). Кроме того, вязкость раствора зависит от концентрации полимера в растворителе (рис. 2).

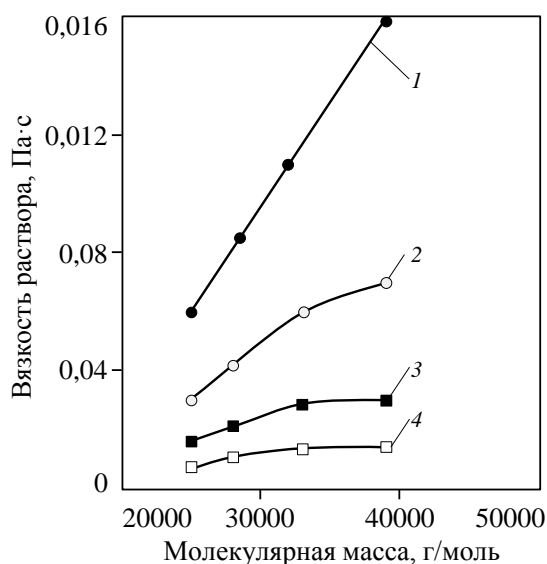


Рис. 1. Зависимость вязкости раствора полисульфона в метиленхлориде от молекулярной массы полисульфона при концентрации раствора 8 (1), 6 (2), 4 (3) и 2% (4)

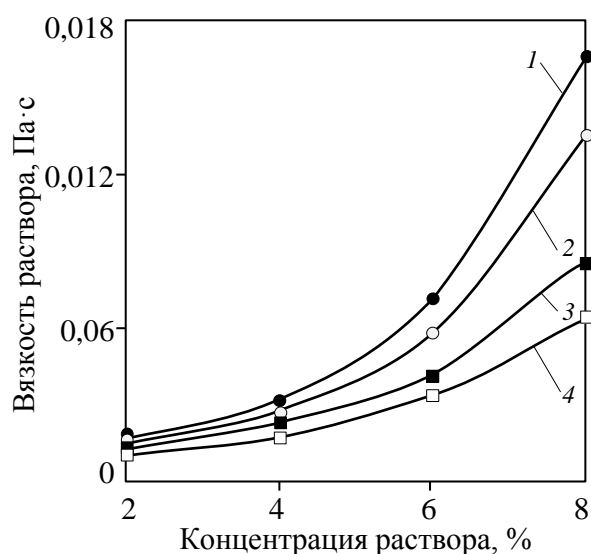


Рис. 2. Зависимость вязкости раствора полисульфона в метиленхлориде от его концентрации при молекулярной массе 39000 (1), 34000 (2), 28000 (3) и 26000 г/моль (4)

Из полученных данных видно, что для качественной пропитки тканого наполнителя требуется двух-, четырехкратная пропитка наполнителя низкоконцентрированным раствором термопласта с обязательной сушкой каждого слоя.

К недостаткам растворной технологии следует отнести:

- растворимость термопластов в ограниченном числе растворителей;
- токсичность растворителей, трудности их рекуперации для вторичного использования;
- наличие остатков растворителя в препреге.

Пленочная технология основана на поочередной укладке наполнителя и пленочного связующего с последующим формованием листа или изделия в гидропрессах или автоклавах.

Самой сложной операцией по данной технологии является получение пленочного связующего требуемой толщины и габарита. Способ получения пленочного связующего влияет на свойства матрицы, а следовательно, и на свойства КТМ.

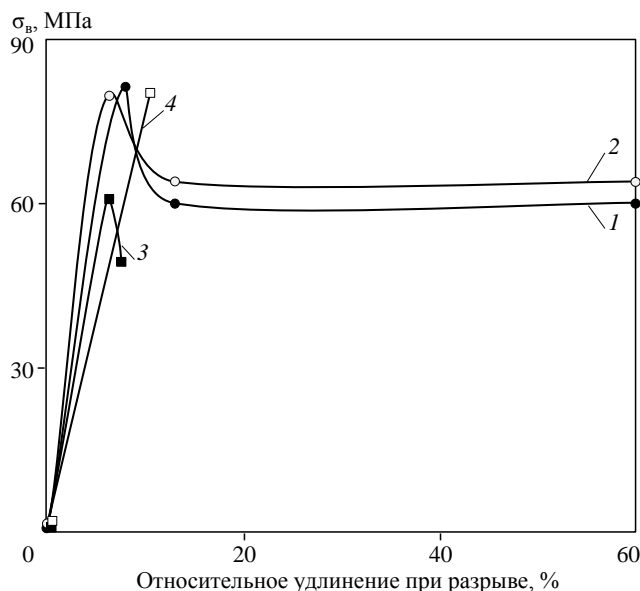


Рис. 3. Диаграммы разрушения образцов полисульфона, полученных разными способами: 1 – литые под давлением; 2 – пленка экструзионная; 3 – пленка поливная; 4 – леска экструзионная

Установлено (рис. 3, кривые 1 и 2), что связующее, полученное из пленочного полисульфона, обладает гораздо большей прочностью и деформативностью, чем из пленок, полученных из раствора того же полисульфона в метиленхлориде (концентрация 6–8%) (кривая 3) и находится на уровне литевых образцов (кривая 1).

Электронно-ионная (порошковая) технология основана на осаждении порошкового связующего на наполнитель (лента, ткань) за счет электростатического притяжения и последующего его оплавления. Значительный вклад в развитие данной технологии внес О.Р. Юркевич с сотрудниками (ИММС НАН Беларуси) [10, 35, 47]. В работах исследовано влияние размеров частиц связующего, значений диэлектрических свойств и способа получения порошкового связующего на свойства получаемых ПКМ (КТМ).

Показано, что диэлектрические свойства порошковых связующих отличаются от аналогичных характеристик монолитных полимеров (табл. 6 и 7).

Таблица 6

Электрические свойства полимерных материалов*

Материал	Монолит			Полидисперсный материал		
	$\rho_v, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	ϵ	$\text{tg } \delta$	$\rho_v, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	ϵ	$\text{tg } \delta$
ПКА (х.о.)	$2 \cdot 10^{16} - 1 \cdot 10^{17}$	3,6–4	$(2,2-3) \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{12}$	4,3	$5,6 \cdot 10^{-2}$
ПКА (м.и.)	$2 \cdot 10^{16} - 1 \cdot 10^{17}$	3,6–4	$(2,2-3) \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{13}$	4,1	$4,5 \cdot 10^{-2}$
П610 (х.о.)	$4 \cdot 10^{16}$	3,4–4	$(1,7-3) \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{13}$	4,1	$4,2 \cdot 10^{-2}$
П610 (м.и.)	$4 \cdot 10^{16}$	3,4–4	$(1,7-3) \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{16}$	4	$3,1 \cdot 10^{-2}$
ПЭВП	10^{19}	2,1–2,4	$(2-5) \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{15}$	2,3	$6,8 \cdot 10^{-4}$
ПП	$10^{18} - 10^{19}$	2,2	$(2-5) \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{15}$	2,1	$6,2 \cdot 10^{-4}$
ПТ	$(1-3) \cdot 10^{18}$	3,2	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{13}$	3,5	$1,9 \cdot 10^{-2}$
ПВБ	$8 \cdot 10^{16}$	3,4	$0,7 \cdot 10^{-2}$	$7,1 \cdot 10^{14}$	3,5	$1,9 \cdot 10^{-2}$
Ф-3П	10^{20}	2,3–2,6	10^{-2}	$3,5 \cdot 10^{16}$	2,6	$0,9 \cdot 10^{-2}$

Ф-4М	10^{18}	1,9–2,1	$(8–15) \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{15}$	2,2	$1,2 \cdot 10^{-3}$
П-ЭП-177	–	4,7	$0,7 \cdot 10^{-2}$	$6,8 \cdot 10^{12}$	5,6	$1,6 \cdot 10^{-2}$
ПАИС-104	–	–	–	$3,4 \cdot 10^{13}$	1,8	$1,4 \cdot 10^{-2}$

* Механическое измельчение – м.и.; химическое осаждение – х.о.

Таблица 7

Теплофизические свойства полимерных материалов*
в монолитном и дисперсном состояниях

Материал	Монолит			Полидисперсный материал		
	λ , Вт/(м·К)	$a' \cdot 10^7$, м ² /с	c_p , кДж/(кг·К)	$\lambda_{эф}$, Вт/(м·К)	$a' \cdot 10^7$, м ² /с	c_p , кДж/(кг·К)
ПКА (х.о.)	0,25	1,18	1,92	0,081	1,08	3,4
ПКА (м.и.)	–	–	–	0,101	1,3	1,7
П610 (х.о.)	0,315	1,32	1,87	0,089	1,42	2,08
П610 (м.и.)	–	–	–	0,099	1,48	1,62
ПЭВП	0,278	1,6	1,86	0,087	1,25	3,39
ПП-5	0,16	0,16	1,9	0,082	–	–
ПТ А-1	0,131	1,2	0,78	0,072	0,94	1,78
ПВБ КЛ	0,271	1,7	1,25	0,084	0,96	3,85
Ф-3П	0,233	–	0,92	0,074	0,77	1,74
Ф-4М	0,256	–	1,05	0,072	1,02	2,08
П-ЭП-177	0,132	1,4	1,48	0,084	0,98	2,04
ПАИС-104	–	–	–	0,122	–	–

* Механическое измельчение – м.и.; химическое осаждение – х.о.

Волоконная технология основана на получении препрегов в виде тканых полуфабрикатов, состоящих из армирующих (неплавких) и матричных (плавких) волокон с регулируемой структурой.

Основной вклад в развитие волоконной технологии в России внесли В.С. Головкин с сотрудниками (МАТИ–РГТУ, г. Москва) [48, 49].

Использование связующего в виде волокон позволило реализовать различные текстильные структуры и формы в виде технических тканей, нетканых иглопробивных материалов, плетеных шнуров, трикотажа. Полученные по волоконной технологии композиционные материалы характеризуются широким разнообразием состава, текстурных и геометрических характеристик.

К недостаткам волоконной технологии можно отнести:

- отсутствие выпуска плавких волокон в Российской Федерации (имеется производство только волокон из полиамида-6 и опытное производство из полипропилена);
- технология получения тканых полуфабрикатов разработана только для органопластиков на основе полиамида-6 и армирующих волокон на основе СВМ, терлона и фенилона.

Из перечисленных способов только растворная и волоконная технологии обеспечивают качественную пропитку наполнителя связующим и высокий уровень механических свойств композиционного материала. Однако использование растворителей требует создания громоздких и дорогостоящих рекуперационных устройств, а пропитка проводится в 2–3 этапа. Кроме того, не все термопластичные связующие можно растворить в каком-либо растворителе и не все термопласты склонны к волокнообразованию.

Низкие механические свойства КТМ при использовании разных способов совмещения связаны, как правило, с плохим качеством пропитки наполнителя высоковязким расплавом связующего. Последующее прессование пластика практически не сказывается на глубине пропитки наполнителя связующим: волокна остаются сухими, не связанными между собой. Только если перед совмещением со связующим наполнитель обработать аппретом или пропитать промежуточный слой, то, независимо от технологии совмещения, прочностные характеристики КТМ будут аналогичны свойствам КТМ, полученного по растворной технологии [50].

В зависимости от физического состояния, природы связующего и вида наполнителя можно выбирать экономически и технологически выгодный способ совмещения, не снижая при этом эксплуатационные свойства пластика.

Обсуждение и заключения

Проведенные исследования и научно-технические литературные данные показали, что в качестве связующих ПКМ могут быть использованы любые термопласты, допускающие технологические операции изготовления из них препрегов с последующим формованием деталей.

Показано, что в качестве связующих ПКМ целесообразно применять суперконструкционные термопласты, обладающие повышенной теплостойкостью, прочностными, пожаробезопасными свойствами и низким водопоглощением.

Установлено, что свойства термопластичных связующих зависят от молекулярной массы – с ростом ее значений увеличиваются температуры стеклования и начала деструкции, прочностные и деформационные свойства, вязкость расплава при этом монотонно увеличивается.

Показано, что при выборе термопластичной матрицы необходимо знать не только физико-механические и теплофизические свойства полимера, но и предысторию его получения (порошок, пленка, волокна, гранулы), а также технологию получения препрега.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России //Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
2. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
3. 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.
4. Каблов Е.Н. Наука как отрасль экономики //Наука и жизнь. 2009. №10. С. 6–12.
5. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я. Конструкционные материалы на основе армированных термопластов //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 4–40.
6. Ноздрин Л.В., Короткова В.И., Бейдер Э.Я. Термопластичные полимеры для конструкционных материалов. Обзор //Технология. Сер. «Конструкции из композиционных материалов». 1991. №1. С. 3–10.
7. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб.: Научные основы и технологии. 2008. С. 100–570.
8. Перов Б.В. Термопласты, наполненные волокнами /В кн. Термопласты конструкционного назначения; Под ред. Е.Б. Тростянской. М.: Химия. 1975. С. 187–216.
9. Термопласты конструкционного назначения /Под ред. Е.Б. Тростянской. М.: Химия. 1975. 240 с.
10. Довгяло В.А., Зиновьев С.Н., Померанцева К.П., Юркевич О.Р. О влиянии технологии препрегов на конструкционные свойства углепластиков //Доклады АН БССР. 1986. Т. 30. №3. С. 237–239.
11. Гуняев Г.М., Чурсова Л.В., Комарова О.А., Гуняева А.Г. Конструкционные углепластики, модифицированные наночастицами //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 277–286.
12. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С., Горбаткина Ю.А. и др. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. СПб.: Профессия. 2008. С. 30–32, 62–72.
13. Зеленский Э.С., Куперман А.М., Лебедева О.В. Армированные пластики на основе термопластичных связующих //Технология. Сер. «Конструкции из композиционных материалов». 1991. №1. С. 10–21.

14. Михайлин Ю.А. Термопластичные композиционные материалы //Полимерные материалы. 2007. №7. С. 8.
15. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. М.: Научные основы и технологии. 2009. 658 с.
16. Полимерные композиционные материалы. Свойства. Структура. Технологии /Под ред. А.А. Берлина. СПб.: Профессия. 2009. 560 с.
17. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ошмян В.Г., Ениколопов Н.С. Принципы создания композиционных полимерных материалов. М.: Химия. 1990. 238 с.
18. Гуняев Г.М., Каблов Е.Н., Алексахин В.М. Модифицирование конструкционных углепластиков углеродными наночастицами //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 5–11.
19. Крутько Э.Т., Прокопчук Н.Р. Перспективные пути создания новых термостойких материалов на основе полиимидов //Труды БГТУ. Сер. «Химия, технология органических веществ и биотехнологии». 2013. №4. С. 145–149.
20. Петрова Н.А. Стеклопластики и их сырьевое обеспечение в России //Полимерные материалы. 2008. №11. С. 33–36.
21. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я., Изотова Т.Ф., Малышенко С.В. Композиционные термопластичные материалы – способы получения и переработки //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2013. №10. С. 10–17.
22. Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Изотова Т.Ф., Гуреева Е.В. Композиционные термопластичные материалы и пенополиимиды //Труды ВИАМ. 2013. №11. Ст. 01 (viam-works.ru).
23. Бейдер Э.Я., Малышенко С.В., Петрова Г.Н. Композиционные термопластичные материалы – свойства и способы переработки //Пластические массы. 2013. №7. С. 56–60.
24. Углеродные волокна и углекомпозиаты: Пер. с англ. /Под ред. Э. Фитцера. М.: Мир. 1988. 336 с.
25. Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Изотова Т.Ф., Барботько С.Л. Стеклопластики на термопластичной матрице //Труды ВИАМ. 2013. №7. Ст. 03 (viam-works.ru).
26. Агафонова А.С., Кондрашов С.В. Особенности технологии изготовления монолитного стеклопластика радиотехнического назначения (МСРТ) //Авиационные материалы и технологии. 2014. №1. С. 30–33.
27. Комаров Г.А. Состояние, перспективы и проблемы применения ПКМ в технике //Полимерные материалы. 2009. №2. С. 5–9.
28. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики – многофункциональные композиционные материалы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 253–260.
29. Петрова Г.Н. Направленная модификация полисульфонов и создание на их основе литевых и композиционных материалов: Автореф. дис. к.т.н. М.: ВИАМ. 2011. С. 10–27.
30. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я., Чеботарев В.П., Ловков С.С., Сазиков В.И. Регулирование свойств полисульфонов за счет модификации //Пластические массы. 2010. №12. С. 23–27.
31. Гуняев Г.М., Гофин М.Я. Углерод-углеродные композиционные материалы //Авиационные материалы и технологии. 2013. №S1. С. 62–90.
32. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы на их основе //Полимерные материалы. 2005. №8. С. 12–23.
33. Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Изотова Т.Ф. Влияние аппретов на свойства термопластичных стеклопластиков //Труды ВИАМ. 2014. №9. Ст. 07 (viam-works.ru).
34. Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Дыкун М.И. Аппретирование углеродных волокон-наполнителей термопластичных карбопластиков //Труды ВИАМ. 2014. №10. Ст. 03 (viam-works.ru).
35. Заборская Л.В., Юркевич О.Р., Довгяло В.А., Писанова Е.В. Исследование закономерностей совмещения дисперсного полисульфона с армирующими волокнами при получении композитных материалов //Механика композитных материалов. 1991. №3. С. 403–407.
36. Устинов В.А., Бейдер Э.Я. Применение композиционных материалов с термопластичной матрицей //Конструкции из композиционных материалов. 1991. №1. С. 21–28.
37. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я., Перфилова Д.Н., Румянцева Т.В. Пожаробезопасные литевые термопласты и термоэластопласты //Труды ВИАМ. 2013. №11. Ст. 02 (viam-works.ru).
38. Абросимов А.П. Европейский рынок термопластичных эластомеров и современные тенденции //Промышленное производство и использование эластомеров. 2010. №3. С. 29–34.
39. Петрова Г.Н., Перфилова Д.Н. и др. Термопластичные эластомеры для замены резин //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 302–308.

40. Петрова Г.Н., Румянцева Т.В. и др. Термоэластопласты – новый класс полимерных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2010. №4. С. 20–25.
41. Вольфсон С.И. Динамически вулканизированные термоэластопласты. М.: Наука. 2004. С. 5–12.
42. Новокшенов В.В., Мусин И.Н., Кимельблат В.И. Оптимизация свойств маслостойких термопластичных эластомерных композиций //Пластические массы. 2009. №3. С. 24–27.
43. Михайлин Ю.А., Кербер М.Л., Горбунова И.Ю. Связующие для полимерных композиционных материалов //Пластические массы. 2002. №2. С. 14–21.
44. Ричардсон М. Промышленные полимерные композиционные материалы. М.: Химия. 1980. 472 с.
45. Бейдер Э.Я. Аэродисперсные покрытия в изделиях авиационной техники: Автореф. дис. ... к.т.н. М.: ВИАМ. 1970. С. 10–25.
46. Юркевич О.Р. Основы технологии композиционных материалов и покрытий, формируемых в газодисперсных полимерных потоках: Автореф. дис. ... д.т.н.: Гомель: ИММС. 1985. С. 12–36.
47. Юркевич О.Р. О характере растекания полимерной капли по поверхности твердого тела //Новое в реологии полимеров. 1981. Ч. 2. С. 126–128.
48. Головкин Г.С., Гончаренко В.А., Дмитренко В.П. Волоконная технология термопластичных композиционных материалов. М.: МАИ. 1993. 232 с.
49. Головкин Г.С., Рыбкина Е.Г. и др. Тканые полуфабрикаты органопластов из плавких и неплавких волокон /В сб. Вопросы авиационной науки и техники. Сер. «Авиационные материалы». М.: ВИАМ. 1988. №1. С. 15–20.
50. Михайлин Ю.А. Терморезактивные связующие ПКМ //Полимерные материалы. 2008. №10. С. 14–19.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Sovremennye materialy – osnova innovacionnoj modernizacii Rossii [Modern materials – basis of innovative modernization of Russia] //Metally Evrazii. 2012. №3. S. 10–15.
2. Kablov E.N. Himiya v aviacionnom materialovedenii [Chemistry in aviation materials science] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 3–4.
3. Kablov E.N. Innovacionnyye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitiya materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [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»] //Aviacionnyye materialy i tehnologii. 2015. №1 (34). S. 3–33.
4. Kablov E.N. Nauka kak otrasl ekonomiki [Science as economy industry] //Nauka i zhizn. 2009. №10. S. 6–12.
5. Petrova G.N., Beider E.Ya. Konstrukcionnyye materialy na osnove armirovannyh termoplastov [Constructional materials on the basis of the reinforced thermoplastics] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 4–40.
6. Nozdrina L.V., Korotkova V.I., Beider Je.Ja. Termoplastichnyye polimery dlya konstrukcionnyh materialov. Obzor [Thermoplastic polymers for constructional materials. Review] //Tehnologiya. Ser. «Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov». 1991. №1. S. 3–10.
7. Mihajlin Yu.A. Konstrukcionnyye polimernye kompozicionnyye materialy [Constructional polymeric composite materials]. SPb.: Nauchnye osnovy i tehnologii. 2008. S. 100–570.
8. Perov B.V. Termoplasty, napolnennyye voloknami [The thermoplastics filled with fibers] /V kn. Termoplasty konstrukcionnogo naznachenija; Pod red. E.B. Trostjanskoj. M.: Himija. 1975. S. 187–216.
9. Termoplasty konstrukcionnogo naznachenija [Thermoplastics of constructional assignment] /Pod red. E.B. Trostjanskoj. M.: Himija. 1975. 240 s.
10. Dovgjalov V.A., Zinovev S.N., Pomerantseva K.P., Yurkevich O.R. O vliyanii tehnologii prepregov na konstrukcionnyye svoystva ugleplastikov [About influence of technology of prepregs on constructional properties ugleplastikov] //Doklady AN BSSR. 1986. T. 30. №3. S. 237–239.
11. Gunyaev G.M., Chursova L.V., Komarova O.A., Gunyaeva A.G. Konstrukcionnyye ugleplastiki, modifitsirovannyye nanochasticami [Constructional coal the plastics modified by nanoparticles] //Aviacionnyye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 277–286.

12. Kerber M.L., Vinogradov V.M., Golovkin G.S., Gorbatkina Ju.A. i dr. Polimernye kompozicionnye materialy: struktura, svojstva, tehnologiya [Polymeric composite materials: structure, properties, technology]. SPb.: Professiya. 2008. S. 30–32, 62–72.
13. Zelenskij E.S., Kuperman A.M., Lebedeva O.V. Armirovannye plastiki na osnove termoplastichnyh svjazujushhih [The reinforced plastics on the basis of the thermoflexible binding] //Tehnologiya. Ser. «Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov». 1991. №1. S. 10–21.
14. Mihajlin Yu.A. Termoplastichnye kompozicionnye materialy [Термопластичные композиционные материалы] //Polimernye materialy. 2007. №7. S. 8.
15. Perepelkin K.E. Armirujushhie volokna i voloknistye polimernye kompozity [Reinforcing fibers and fibrous polymeric composites]. M.: Nauchnye osnovy i tehnologii. 2009. 658 s.
16. Polimernye kompozicionnye materialy. Svojstva. Struktura. Tehnologii [Polymeric composite materials. Properties. Structure. Technologies] /Pod red. A.A. Berlina. SPb.: Professiya. 2009. 560 s.
17. Berlin A.A., Volfson S.A., Oshmyan V.G., Enikolopov N.S. Principy sozdaniya kompozicionnyh polimernyh materialov [Principles of creation of composite polymeric materials]. M.: Himiya. 1990. 238 s.
18. Gunyaev G.M., Kablov E.N., Aleksashin V.M. Modificirovanie konstrukcionnyh ugleplastikov uglerodnymi nanochasticami [Modifying constructional coal of plastics carbon nanoparticles] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 5–11.
19. Krutko E.T., Prokopchuk N.R. Perspektivnye puti sozdaniya novyh termostojkih materialov na osnove poliimidov [Perspective ways of creation of new heat-resistant materials on the basis of polyimide] //Trudy BGTU. Ser. «Himiya, tehnologiya organicheskikh veshhestv i biotehnologii». 2013. №4. S. 145–149.
20. Petrova N.A. Stekloplastiki i ih syrevoe obespechenie v Rossii [Fibreglasses and their raw providing in Russia] //Polimernye materialy. 2008. №11. S. 33–36.
21. Petrova G.N., Beider Je.Ja., Izotova T.F., Malyshenok S.V. Kompozicionnye termoplastichnye materialy – sposoby polucheniya i pererabotki [Composite thermoflexible materials – ways of receiving and processing] //Vse materialy. Enciklopedicheskij spravocnik. 2013. №10. S. 10–17.
22. Beider E.Ya., Petrova G.N., Izotova T.F., Gureeva E.V. Kompozicionnye termoplastichnye materialy i penopoliimidy [Thermoplastic composite materials and foam polyimides] //Trudy VIAM. 2013. №11. St. 01 (viam-works.ru).
23. Beider E.Ya., Malyshenok S.V., Petrova G.N. Kompozicionnye termoplastichnye materialy – svojstva i sposoby pererabotki [Composite thermoflexible materials – properties and ways of processing] //Plasticheskie massy. 2013. №7. S. 56–60.
24. Uglerodnye volokna i uglekompozity [Carbon fibers and coal composites]: Per. s ang. /Pod red. Je. Fitera. M.: Mir. 1988. 336 s.
25. Beider E.Ya., Petrova G.N., Izotova T.F., Barbotko S.L. Stekloplastiki na termoplastichnoj matrice [Glass reinforced plastics on the basis of thermoplastic matrix] //Trudy VIAM. 2013. №7. St. 03 (viam-works.ru).
26. Agafonova A.S., Kondrashov S.V. Osobennosti tehnologii izgotovlenija monolitnogo stekloplastika radiotehnicheskogo naznachenija (MSRT) [Features of a technology to manufacture monolithic glass-fiber plastics intended for radio engineering] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2014. №1. S. 30–33.
27. Komarov G.A. Sostojanie, perspektivy i problemy primenenija PKM v tehnike [Condition, perspectives and problems of application of PKM in equipment] //Polimernye materialy. 2009. №2. S. 5–9.
28. Davydova I.F., Kavun N.S. Stekloplastiki – mnogofunkcionalnye kompozicionnye materialy [Fibreglasses – multipurpose composite materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 253–260.
29. Petrova G.N. Napravlenaja modifikacija polisulfonov i sozdanie na ih osnove litevyh i kompozicionnyh materialov [The directed updating of polysulphones and creation on their basis of lityevy and composite materials]: Avtoref. dis. k.t.n. M.: VIAM. 2011. S. 10–27.
30. Petrova G.N., Beider E.Ya., Chebotarev V.P., Lovkov S.S., Sazikov V.I. Regulirovanie svojstv polisulfonov za schet modifikacii [Regulation of properties of polysulphones at the expense of updating] //Plasticheskie massy. 2010. №12. S. 23–27.
31. Gunyaev G.M., Gofin M.Ya. Uglerod-uglerodnye kompozicionnye materialy [Carbon-carbon composite materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №S1. S. 62–90.

32. Mihajlin Yu.A. Termoustojchivye polimery i polimernye materialy na ih osnove [Thermosteady polymers and polymeric materials on their basis] //Polimernye materialy. 2005. №8. S. 12–23.
33. Beider E.Ya., Petrova G.N., Izotova T.F. Vliyanie appretov na svojstva termoplastichnyh stekloplastikov [An influence of coupling agent on properties of thermoplastic glass reinforced plastics] //Trudy VIAM. 2014. №9. St. 07 (viam-works.ru).
34. Beider E.Ya., Petrova G.N., Dykun M.I. Appretirovanie uglerodnyh volokon-napolnitelej termoplastichnyh karboplastikov [Dressing of carbon fibers – fillers of thermoplastic carbon reinforced plastics] //Trudy VIAM. 2014. №10. St. 03 (viam-works.ru).
35. Zaborskaya L.V., Yurkevich O.R., Dovgyalo V.A., Pisanova E.V. Issledovanie zakonomernostej sovmeshheniya dispersnogo polisulfona s armiruyushhimi voloknami pri poluchenii kompozitnyh materialov [Research of patterns of combination of disperse polysulphone with reinforcing fibers when receiving composite materials] //Mehanika kompozitnyh materialov. 1991. №3. S. 403–407.
36. Ustinov V.A., Beider E.Ya. Primenenie kompozicionnyh materialov s termoplastichnoj matricej [Application of composite materials with thermoflexible matrix] //Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov. 1991. №1. S. 21–28.
37. Petrova G.N., Beider E.Ya., Perfilova D.N., Rumyancheva T.V. Pozharobezopasnye litevye termoplasty i termoelastoplasty [Fire safety of injection molding thermoplastics and TPE materials] //Trudy VIAM. 2013. №11. St. 02 (viam-works.ru).
38. Abrosimov A.P. Evropejskij rynek termoplastichnyh elastomerov i sovremennye tendencii [European market of thermoflexible elastomer and current trends] //Promyshlennoe proizvodstvo i ispolzovanie elastomerov. 2010. №3. S. 29–34.
39. Petrova G.N., Perfilova D.N. i dr. Termoplastichnye jelastomery dlya zameny rezin [Thermoflexible elastomer for replacement of rubbers] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 302–308.
40. Petrova G.N., Rumyancheva T.V. i dr. Termoelastoplasty – novyj klass polimernyh materialov [Thermoelastoplastics – new class of polymeric materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2010. №4. S. 20–25.
41. Volfson S.I. Dinamicheski vulkanizovannye termoelastoplasty [Dynamically vulkanizovanny thermoelastoplastics]. M.: Nauka. 2004. S. 5–12.
42. Novokshonov V.V., Musin I.N., Kimelblat V.I. Optimizaciya svojstv maslostojkikh termoplastichnyh elastomernyh kompozicij [Optimization of properties of oilproof thermoflexible elastomeric compositions] //Plasticheskie massy. 2009. №3. S. 24–27.
43. Mihajlin Yu.A., Kerber M.L., Gorbunova I.Yu. Svyazuyushhie dlya polimernyh kompozicionnyh materialov [Binding for polymeric composite materials] //Plasticheskie massy. 2002. №2. S. 14–21.
44. Richardson M. Promyshlennye polimernye kompozicionnye materialy [Промышленные полимерные композиционные материалы]. M.: Himiya. 1980. 472 s.
45. Beider E.Ya. Aerodispersnye pokrytiya v izdeliyah aviacionnoj tehniki [Aero disperse coverings in products of aviation engineering]: Avtoref. dis. ... k.t.n. M.: VIAM. 1970. S. 10–25.
46. Yurkevich O.R. Osnovy tehnologii kompozicionnyh materialov i pokrytij, formiruemyh v gazodispersnyh polimernyh potokah [Bases of technology of composite materials and the coverings created in gazodispersny polymeric flows]: Avtoref. dis. ... d.t.n.: Gomel: IMMS. 1985. S. 12–36.
47. Yurkevich O.R. O haraktere rastekaniya polimernoj kapli po poverhnosti tverdogo tela [About nature of spreading of polymeric drop on surface of solid body] //Novoe v reologii polimerov. 1981. Ch. 2. S. 126–128.
48. Golovkin G.S., Goncharenko V.A., Dmitrenko V.P. Volokonnaya tehnologiya termoplastichnyh kompozicionnyh materialov [Fiber technology of thermoflexible composite materials]. M.: MAI. 1993. 232 s.
49. Golovkin G.S., Rybkina E.G. i dr. Tkanye polufabrikaty organoplastov iz plavkih i neplavkih volokon [Woven semi-finished products of organic laminates from fusible and not fusible fibers] /V sb. Voprosy aviacionnoj nauki i tehniki. Ser. «Aviacionnye materialy». M.: VIAM. 1988. №1. S. 15–20.
50. Mihajlin Yu.A. Termoreaktivnye svyazuyushhie PKM [Thermosetting binding PKM] //Polimernye materialy. 2008. №10. S. 14–19.