



УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-8-5-5

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМОВАНИЯ ПРЕСС-ВОЛОКНИТА
НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО
ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО**

Л.Л. Краснов

кандидат технических наук

З.В. Кирина

О.А. Елисеев

Август 2014

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.

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-8-5-5

Л.Л. Краснов¹, З.В. Кирина¹, О.А. Елисеев¹

ОСОБЕННОСТИ ФОРМОВАНИЯ ПРЕСС-ВОЛОКНИТА НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Использована зависимость физических, механических, технологических, эксплуатационных свойств прессовочного материала от длины волокна, температуры, времени сушки и срока хранения препрега на основе модифицированной фенольной смолы и углеродно-кремнеземного наполнителя.

Ключевые слова: *тепловая защита, прессовочный материал, армирующий наполнитель, модифицированное связующее, физические свойства, механические свойства, срок хранения, продолжительность выдержки.*

L.L. Krasnov, S.V. Kirina, O.A. Eliseev

FEATURES OF FORMING PRESSED FIBER REINFORCED PLASTIC ON THE BASIS OF MODIFIED PHENOL-FORMALDEHYDE BINDING

In work dependence has been used of physical, mechanical, technological, operational properties of pressing material on length of fiber, temperature, time of drying and prepreg storage life on the basis of the modified phenolic resin and carbon-silicious filler is used.

Keywords: *thermal protection, the pressing material, reinforcing filler, modified binding, physical properties, mechanical properties, storage life, hold time.*

¹ Федеральное 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

Среди обширного класса композиционных материалов, представляющих собой объемное сочетание полимерной матрицы и армирующих наполнителей, особое место занимают волокниты. Такая высокая оценка этих материалов не случайна. Эти материалы обладают комплексом ценных свойств, такими как:

– высокая технологичность – возможность изготовления на их основе прямым прессованием или литьевым способом изделий сложных форм с высокой точностью испол-

нения, обладающих прочностью, чистой поверхностью и, как правило, после прессования не требующих механической обработки;

- высокая производительность процесса переработки полуфабриката в изделия и возможность полной механизации процесса;

- возможность применения при изготовлении волокнитов в качестве связующего как терморезистивных полимеров (фенолформальдегидных, полиэфирных, эпоксидных, кремнийорганических и их модификаций), так и термопластичных (полистирол, полиэтилен, поликарбонаты и др.). Возможность применения различных по химической природе наполнителей позволяет получать материалы и изделия с оптимальными эксплуатационными свойствами. Особенно это важно в материалах теплозащитного назначения и в изделиях, работающих в условиях высоких температур, давлений и агрессивных сред [1–9].

В качестве тепловой защиты широкое применение получили волокниты на основе фенолформальдегидных связующих. Для отечественной промышленности разработано и рекомендовано к применению более 15 марок прессовочных волокнитов.

В СССР было организовано серийное производство теплозащитных прессовочных материалов на заводах химической промышленности. Однако в начале 90-х годов в связи с резким сокращением производства и отсутствием заказов поставки этих материалов резко сократились, а производство некоторых вообще прекратилось.

До настоящего времени основным поставщиком прессовочных материалов является Нижнетагильский завод пластмасс. Однако с учетом небольшой потребности и необходимости доставки полуфабрикатов волокнитов в центральную часть России данная продукция оказалась достаточно дорогостоящей.

Перед специалистами ВИАМ была поставлена задача по разработке волокнитов со свойствами, не уступающими свойствам материалов П-5-2, П-5-12 и др. [7]. Одним из направлений проведенных исследований по разработке композиционных материалов [4, 5, 7–23] стали работы по созданию прессовочных композиций на основе кремнеземных и кремнеземно-углеродных наполнителей, модифицированных фенолокаучуковым связующим. В результате были созданы прессовочные волокниты на основе модифицированных фенолокаучуковых связующих, кремнеземных и кремнеземно-углеродных волокнистых наполнителей. Разработанным прессовочным волокнистым теплозащитным материалам присвоены марки ТЗУ-2ПС и ТЗС-1Ф. Основные свойства материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства пресс-волоконитов ТЗУ-2ПС и ТЗС-1Ф

Показатели	Значения показателей материала	
	ТЗУ-2ПС	ТЗС-1Ф
Внешний вид	Перепутанные, пропитанные связующим волокна без посторонних включений	
Массовая доля растворимых продуктов, %	34–43	34–43
Массовая доля влаги и летучих, % (не менее)	3,5	3,0
Плотность, г/см ³ (не менее)	1,45	1,7
Пористость, %	2,0±0,5	2,0±0,5
Предел прочности при растяжении, МПа	20–40	28–48
Относительное удлинение при растяжении, %	0,6–1,0	0,6–1,0
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	74–120	60–120
Предел прочности при сжатии, МПа (не менее)	80	80
Разброс по плотности в материале при формовании сложных деталей, г/см ³	±0,05	±0,06
Текучность по Рашигу, мм, при температуре 165±5°С и давлении 30 МПа	>200	130
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,5	–
Теплоемкость, кДж/(кг·К)	13	–
Линейная скорость разрушения, мм/с	0,35	0,45

В процессе разработки этих прессовочных волоконитов было необходимо определить и оптимизировать ряд технологических параметров, таких как длина армирующих нитей, условия подготовки навески перед формованием, температурно-временные характеристики формования изделия, сроки хранения полуфабриката [9, 15–22]. Полученные экспериментальные данные позволили разработать рекомендации по переработке этих материалов.

С целью всестороннего анализа технологических свойств прессовочных волоконитов проведены исследования свойств по следующим направлениям:

- термогравиметрический анализ процессов деструкции;
- исследование влияния длины армирующего наполнителя на механические и технологические свойства прессовочной композиции;
- исследование влияния температурного и временного фактора формования на физические, механические, химические свойства;
- определение срока хранения полуфабриката.

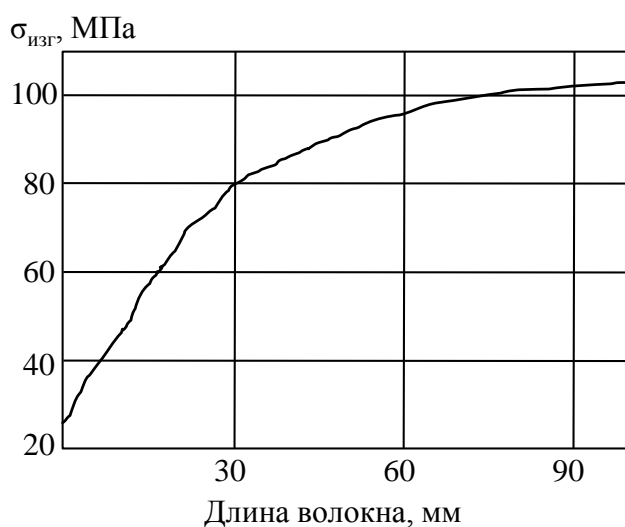
С учетом того что в качестве полимерной матрицы для разрабатываемых материалов выбрана фенолформальдегидная смола новолачного типа, модифицированная бутадиен-нитрильным каучуком, то для исследований технологических характеристик выбрана прессовочная композиция ТЗУ-2ПС.

Исследование процессов термической деструкции прессовочной композиции проводилось методом дериватографии при скорости нагрева на воздухе, равной 10°С/мин [18].

Таким образом, исследованы физико-химические фазовые переходы, происходящие в полимерной матрице. Установлено, что начало процессов фазовых превращений наблюдается при температурах 170–220°C. В указанном диапазоне температур происходит поликонденсационный процесс доотверждения полимерной части с потерей массы – до 3,0%.

При повышении температуры от 200 до 400°C (первая фаза термической деструкции) наблюдается термоокислительный процесс, связанный с деструкцией каучука и фенолформальдегидной смолы. Этот процесс сопровождается умеренным тепловыделением и потерей 9–10% (по массе). Вторая фаза, наблюдаемая в области температур 400–520°C, характеризуется дополнительной и существенной потерей массы (до 22%) и усиленным тепловыделением. Максимум активности процесса деструкции наблюдается до температуры 600°C. При дальнейшем повышении температуры (до 1000°C) экзотермические процессы прекращаются. Наблюдается медленный процесс структурирования коксового остатка с минимальным выделением летучих продуктов и поглощением тепла. Такой процесс разрушения теплозащитного материала делает поверхность более устойчивой к термическому и газодинамическому воздействию и разрушению [6].

Известно, что волокнистые прессовочные материалы имеют более высокую прочность по сравнению с порошкообразными прессовочными составами. Однако их прочность зависит от ряда факторов, в том числе от длины волокна, способа изготовления полуфабриката, способа подготовки полуфабриката перед прессованием, метода прессования, продолжительности хранения и др. [2].



Зависимость предела прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ от длины волокна

Влияние длины волокна определялось по изменению предела прочности при изгибе на образцах, изготовленных из плиты, полученной прямым прессованием. В качестве армирующего волокна использовалась смесь кремнеземных и углеродных нитей. Данные исследований приведены на рисунке. Видно, что увеличение длины нитей с 10 до 40 мм приводит к увеличению предела прочности при изгибе с 20–25 до 80–100 МПа. При увеличении длины нитей с 60 до 100 мм и более прочность не увеличивается, а изготовление пресс-композиции существенно затрудняется вследствие технологических сложностей при перемешивании.

Сокращение продолжительности технологического цикла переработки прессовочных материалов, а также снижение брака по расслоению достигается путем предварительного подогрева навески. Исследования проводились на навесках массой 350–480 г. Исследуемая навеска помещалась в термостат и выдерживалась в течение 15, 20 и 45 мин при температурах 130 и 160°C. Данные по исследуемым показателям, условиям прогрева полуфабриката и полученным результатам приведены в табл. 2. Следует отметить, что текучесть материала определяли по методу Рашига. Для этого прессовали образцы при температурах 120 и 160°C и давлении 30 МПа.

Таблица 2

Изменение технологических свойств полуфабриката в зависимости от температуры и продолжительности выдержки

Показатели	Значения показателей* для полуфабриката						
	в исходном состоянии	после предварительной сушки при температуре, °C					
		130			160		
		при продолжительности выдержки, мин					
		15	20	45	15	20	45
Содержание летучих, % (по массе)	3,94	0,46	0,27	0	0	0	0
Текучесть по Рашигу, мм, при температуре формования, °C:							
120	180/(151–205)	111/(73–157)	59/(37–80)	23/(10–30)	0	0	0
160	>200	140/(110–195)	99/(86–111)	71/(35–110)	0	0	0
Содержание растворимой смолы, %	100	98,0	97,6	72,0	15	14,2	15

* В числителе – средние значения, в знаменателе – минимальные и максимальные значения.

Анализ полученных данных показал, что температура разогрева навески и продолжительность выдержки существенно влияют на технологические характеристики прессоволокнита. Так, после выдержки навески при температуре 130°C в течение 15 мин текучесть снизилась с 200 до 111 мм при температуре формования 120°C.

При температуре формования 160°C текучесть составила 140 мм. При этом содержание растворимой части связующего практически не изменилось и составило 98% (по массе). Содержание летучих снизилось до 0,46% (по массе).

При выдержке навески в термостате в течение 20 мин текучесть при температуре прессования 120°C уменьшилась до 59 мм. При температуре 160°C текучесть составила 100 мм, содержание летучих снизилось до 0,27% (по массе). При этом содержание растворимой части связующего практически не изменилось и составило 97,6% (по массе).

При выдержке навески при температуре 130°C в течение 45 мин потери массы не наблюдается, текучесть при прессовании при температуре 120°C составила 23 мм, при 160°C: 71 мм, содержание растворимых компонентов: 72% (по массе).

При дальнейшем увеличении температуры прогрева навески до 160°C получена нулевая текучесть при прессовании при 120 и 160°C, после выдержки в течение 15 мин содержание растворимой части снизилось до 15% (по массе).

Исследование поведения полуфабриката при прогреве перед прессованием показало, что прессовочный материал ТЗУ-2ПС необходимо перерабатывать в изделия после предварительной сушки. При этом качество отформованных плоских образцов улучшается. Вздутий и расслоений при распрессовке без охлаждения не наблюдалось.

Важной технологической характеристикой, определяющей конкурентоспособность прессовочных материалов, является температурный режим их формования, в частности продолжительность выдержки при формовании изделия в пресс-форме. Исследование физико-механических свойств проводили на образцах, изготовленных из отпрессованных плит размером 260×260×7 мм. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства материала опытных панелей, отформованных при разной продолжительности выдержки

Показатели	Значения показателей* материалов, полученных по разным режимам прессования (условный номер)			
	1	2	3	4
Плотность, г/см ³	<u>1,50–1,54</u> 1,52	<u>1,48–1,50</u> 1,49	<u>1,44–1,49</u> 1,46	1,5
Пористость, %	0,81	0,79	0,8	1,5
Степень отверждения, %	<u>96,60–96,75</u> 96,67	<u>96,30–96,46</u> 96,38	<u>95,20–96,30</u> 95,75	<u>95,50–96,65</u> 96,07
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	<u>55,6–71,5</u> 63,5	<u>64,4–114,0</u> 89,0	<u>73,1–94,2</u> 83,6	<u>73,4–98,5</u> 85,9
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	<u>77,3–94,5</u> 85,9	<u>81,0–104,5</u> 92,7	<u>74,9–82,5</u> 78,7	<u>65,7–85,6</u> 75,7
Предел прочности при растяжении, МПа	<u>24,1–30,4</u> 27,2	<u>28,7–29,2</u> 28,9	<u>26,7–33,4</u> 30,0	<u>18,4–29,2</u> 23,8
Относительное удлинение, %	<u>0,44–0,67</u> 0,55	<u>0,57–0,74</u> 0,65	<u>0,63–0,67</u> 0,65	<u>0,57–0,72</u> 0,62

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Результаты испытаний показали, что физико-механические свойства материала ТЗУ-2ПС, отвержденного при температуре $165\pm 5^\circ\text{C}$ с выдержкой 12 (режим 1), 6 (режим 2) и 4 мин/мм (режим 3) и при температуре $230\pm 5^\circ\text{C}$ с выдержкой 4 мин/мм (режим 4), практически одинаковы. Рекомендуемый режим прессования материала ТЗУ-2ПС:

- температура прессования $165\pm 5^\circ\text{C}$;
- продолжительность выдержки 4 мин на 1 мм толщины.

Одной из характеристик прессовочных материалов, определяющих их технологичность, является сохранение физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств в процессе хранения полуфабриката. Оценка жизнеспособности полуфабриката ТЗУ-2ПС в процессе его длительного хранения проводилась на партиях полуфабриката, изготовленного по серийной технологии. Полуфабрикат хранился в производственном помещении при температуре $15\text{--}35^\circ\text{C}$, упакованный в соответствии с техническими условиями в полиэтиленовые мешки без доступа воздуха. В ходе выполнения эксперимента необходимо было по изменению физических, технологических, механических и химических свойств уточнить срок хранения полуфабриката. В табл. 4 приведены показатели, по которым определялось качество прессования после хранения, методики испытания и форма образцов. В табл. 5 представлены данные по результатам испытаний.

Таблица 4

**Показатели, по которым определялось качество материала
в процессе хранения полуфабриката**

Показатели	Норма по ТУ 205РСФСР 11.1–87	Документ на метод испытания	Вид образца для испытаний
Массовая доля влаги и летучих, %	2	ТУ 205РСФСР 11.1–87	Проба неотвержденного материала
Массовая доля растворимых продуктов, %	35–42	ТУ 205РСФСР 11.1–87	То же
Плотность, г/см ³ (не менее)	1,45	ГОСТ 15139–69	Отвержденный материал размером ($15\pm 0,5$) \times (25 ± 1) \times ($5\pm 0,4$) мм
Пористость, % (не менее)	2	ГОСТ 2409–80	
Предел прочности при растяжении, МПа	2,4–4,5	ГОСТ 11262–80	Отвержденный материал размером (25 ± 1) \times ($5\pm 10,4$) мм, длиной (260 ± 1) мм; скорость испытания 10 мм/мин
Относительное удлинение при растяжении, %	0,6–1		
Текущность по Рашигу, мм, при температуре $165\pm 5^\circ\text{C}$	>200	ТУ 205РСФСР 11.1–87	Проба неотвержденного материала
Степень отверждения, % (не менее)	90	ПИ 1.2.305–86	То же

**Изменение физико-механических свойств полуфабриката и материала
на его основе от продолжительности хранения полуфабриката**

Свойства	Норма по ТУ	Значения свойств при сроках хранения полуфабриката, сут			
		в исходном состоянии	300	605	805
Массовая доля влаги и летучих, %	Не более 29	2,28	2,45	1,87	1,08
Массовая доля растворимых продуктов, %	35–42	39	37,8	38	38,3
Плотность, г/см ³ (не менее)	1,45	1,55	1,45	1,49	1,52
Пористость, %	Не более 2	1,27	1,36	1,27	1,03
Предел прочности при растяжении, МПа	24–45	21	20,4	–	–
Относительное удлинение при растяжении, %	0,6–1	1,4	1,4	–	–
Текучность по Рашигу, мм, при температуре 165±5°C	200	215	215	180	183
Степень отверждения, % (не менее)	90	96,9	94,6	95,3	97

Анализ изменения физико-механических свойств пресс-композиции на основе фенолокаучукового связующего и отпрессованного материала на ее основе показал, что по истечении 805 сут (2,2 года) материал сохранил свойства по всем показателям, за исключением показателя текучности по Рашигу (180 мм – вместо не менее 200 мм). Полученные данные позволили установить срок хранения полуфабриката – до 2,2 года.

Разработанные пресс-волокниты марок ТЗУ-2ПС и ТЗС-1Ф позволяют заменить прессовочные волокниты типа П-5-2, П-5-12 и дают дополнительные технологические и экономические преимущества потребителям пресс-волокнитов. Высокие показатели по прочности и деформативности обеспечивают получение высококачественных отформованных заготовок, а возможность варьировать технологические параметры формования позволяет оптимизировать технологию переработки полуфабриката в изделие и, как следствие, увеличить производительность, что в совокупности позволяет изготавливать изделия по более гибкому технологическому режиму. На пресс-волокниты марок ТЗУ-2ПС и ТЗС-1Ф разработана необходимая техническая документация.

ЛИТЕРАТУРА

1. История авиационного материаловедения. ВИАМ-80 лет: годы и люди /Под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ. 2012. С. 349–355.
2. Архангельский Б.А. Пластические массы: Справочное пособие. Л. 1961. С. 208–232.
3. Полимерные композиционные материалы: свойства, структура, технологии /Под общ. ред. А.А. Берлина. СПб.: Профессия. 2008. С. 358–361.

4. Броцыхин Е.А. Технология пластических масс. Л.: Гос. науч.-технич. изд-во химич. лит. 1963. С. 235–237.
5. 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.
6. Ивахненко Ю.А., Бабашов В.Г., Зимичев А.М., Тинякова Е.В. Высокотемпературные теплоизоляционные и теплозащитные материалы на основе волокон тугоплавких соединений //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 380–385.
7. Барботько С.Л. Пожаробезопасность авиационных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 431–439.
8. Киселев Б.А. Стеклопластики. М.: Госхимиздат. 1961. С. 142–147.
9. Скрыбина М.Е., Пиюгжанин В.М., Фрушар Д. Особенности формирования текстуры деформации в магниевом сплаве в процессе равноканального углового прессования //Перспективные материалы. 2013. №11. С. 33–42.
10. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Балинова Ю.А. Перспективные армирующие высокотемпературные волокна для металлических и керамических композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2013. №2. Ст. 05 (viam-works.ru).
11. Основные технологии переработки пластмасс /Под ред. В.Н. Кузнецова, В.К. Гусева. М.: Химия. 2004. 597 с.
12. Березин Н.М., Залазинский А.Г. Определение условий пластического течения некомпактных материалов //Фундаментальные исследования. 2013. №8. С. 19–20.
13. Шаркеев Ю.П., Ерошенко А.Ю., Фортуна С.В., Толмачев А.И., Финк Т.А. Микроструктура и механические свойства после интенсивной пластической деформации //Известия вузов. 2013. №8. С. 60–64.
14. Васильев В.С. О пресс-формовочных машинах //КОКС и химия. 2011. №4. С. 32–38.
15. Виноградов В.М., Головин Г.С., Горохович А.И., Гручишкин В.А., Первушин Ю.С. Технология производства препрегов для полимерных композиционных материалов. Уфа: ЦГАТУ. 1995. 92 с.
16. Исханов Г.В. Прочность неметаллических материалов при неравномерном нагреве. К.: Наукова думка. 1971. 187 с.
17. Гуляев А.С. Новые стекловолокнистые материалы. М.: ГОСИНТИ. 1959. 20 с.
18. Наполнители для полимерных композиционных материалов /Под ред. П.Г. Бабаевского. М.: Химия. 1981. С. 19–85.

19. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В., Коган Д.И. Новые полимерные связующие для перспективных методов изготовления конструкционных волокнистых ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 38–42.
20. Душин М.И., Хрульков А.В., Мухаметов Р.Р. Выбор технологических параметров автоклавного формования деталей из полимерных композиционных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2011. №3. С. 20–26.
21. Душин М.И., Хрульков А.В., Платонов А.А., Ахмадиева К.Р. Безавтоклавное формование углепластиков на основе препрегов, полученных по растворной технологии //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 43–48.
22. Донской А.А., Шашкина М.А. Эластомерные огне-теплозащитные и теплоаккумулирующие материалы /В сб. Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков: Науч.-технич. сб. М.: ВИАМ. 1994. С. 384–390.
23. Шах В. Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения. СПб.: НАТ. 2009. С. 178–191.

REFERENCES LIST

1. Stekloplastiki [GRP] /V kn. Istorija aviacionnogo materialovedenija. VIAM-80 let: gody i ljudi /Pod obshh. red. E.N. Kablova. M.: VIAM. 2012. S. 349–355.
2. Arhangel'skij B.A. Plasticheskie massy [Plastics]: Spravochnoe posobie. L. 1961. S. 208–232.
3. Polimernye kompozicionnye materialy: svojstva, struktura, tehnologii [Polymer composite materials: properties, structure, technology] /Pod obshh. red. A.A. Berlina. SPb.: Professija. 2008. S. 358–361.
4. Brocyhin E.A. Tehnologija plasticheskikh mass [Plastics technology]. L.: Gos. nauch.-tehlich. izd-vo himich. lit. 1963. S. 235–237.
5. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technologies to process them for the period up to 2030] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
6. Ivahnenko Ju.A., Babashov V.G., Zimichev A.M., Tinjakova E.V. Vysokotemperaturnye tep-loizoljacionnye i teplozashhitnye materialy na osnove volokon tugoplavkikh soedinenij [High-temperature and heat-insulating materials based on fibers of refractory compounds] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 380–385.

7. Barbot'ko S.L. Pozharobezopasnost' aviacionnyh materialov [Fire safety of aircraft materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 431–439.
8. Kiselev B.A. Stekloplastiki [GRP]. M.: Goshimizdat. 1961. S. 142–147.
9. Skrjabina M.E., Pijugzhanin V.M., Frushar D. Osobennosti formovanija tekstury deformacii v magnievom splave v processe ravnokanal'nogo uglovogo pressovanija [Features molding deformation texture in the magnesium alloy during equal channel angular pressing] //Perspektivnye materialy. 2013. №11. S. 33–42.
10. Kablov E.N., Shhetanov B.V., Ivahnenko Ju.A., Balinova Ju.A. Perspektivnye armirujushhie vysokotemperaturnye volokna dlja metallicheskih i keramicheskikh kompozicionnyh materialov [Prospective reinforcing fibers for high temperature ceramic composites and metal materials] //Trudy VIAM. 2013. №2. St. 05 (viam-works. ru).
11. Osnovnye tehnologii pererabotki plastmass [Key technology Plastics processing] /Pod red. V.N. Kuznecova, V.K. Guseva. M.: Himija. 2004. 597 s.
12. Berezin N.M., Zalazinskij A.G. Opredelenie uslovij plasticheskogo techenija nekompaktnyh materialov [Determination of the conditions of plastic flow of non-compact materials] //Fundamental'nye issledovanija. 2013. №8. S. 19–20.
13. Sharkeev Ju.P., Eroshenko A.Ju., Fortuna S.V., Tolmachev A.I., Fink T.A. Mikrostruktura i mehanicheskie svojstva posle intensivnoj plasticheskoy deformacii [Microstructure and mechanical properties after severe plastic deformation] //Izvestija vuzov. 2013. №8. S. 60–64.
14. Vasil'ev V.S. O press-formovochnyh mashinah [About the press molding machines] //KOKS i himija. 2011. №4. S. 32–38.
15. Vinogradov V.M., Golovin G.S., Gorohovich A.I., Gruchishkin V.A., Pervushin Ju.S. Tehnologija proizvodstva prepregov dlja polimernyh kompozicionnyh materialov [Technology for producing prepregs polymer composites]. Ufa: CGATU. 1995. 92 c.
16. Ishanov G.V. Prochnost' nemetallicheskih materialov pri neravnomernom nagreve [Strength of non-metallic materials with non-uniform heating]. K.: Naukova dumka. 1971. 187 s.
17. Guljaev A.S. Novye steklovoloknistye materialy [New glass fiber materials]. M.: GOSINTI. 1959. 20 s.
18. Napolniteli dlja polimernyh kompozicionnyh materialov [Fillers for polymer composites] /Pod red. P.G. Babaevsko-go. M.: Himija. 1981. S. 19–85.
19. Muhametov R.R., Ahmadijeva K.R., Chursova L.V., Kogan D.I. Novye polimernye svjazujushhie dlja perspektivnyh metodov izgotovlenija konstrukcionnyh voloknistyh

- PKM [New polymeric binders for advanced manufacturing techniques of structural fibrous RMB] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №2. S. 38–42.
20. Dushin M.I., Hrul'kov A.V., Muhametov R.R. Vybora tehnologicheskikh parametrov avtoklavnogo formovaniya detalej iz polimernyh kompozicionnykh materialov [Selection of process parameters autoclave molding parts made of polymer composites] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №3. S. 20–26.
21. Dushin M.I., Hrul'kov A.V., Platonov A.A., Ahmadijeva K.R. Bezavtoklavnoe formovanie ugleplastikov na osnove prepregov, poluchennykh po rastvornoj tehnologii [Bezavtoklavnoe molding carbon fiber based prepregs obtained by mortar technology] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №2. S. 43–48.
22. Donskoj A.A., Shashkina M.A. Jelastomernye ogne-teplozashhitnye i teploakkumulirujushhie materialy [Elastomeric fire-and heat-storage materials] /V sb. Aviacionnye materialy na rubezhe XX–XXI vekov: Nauch.-tehnič. sb. M.: VIAM. 1994. S. 384–390.
23. Shah V. Spravochnoe rukovodstvo po ispytaniyam plastmass i analizu prichin ih razrushenija [Reference Manual of Tests and plastic analysis of the causes of their destruction]. SPb.: NAT. 2009. S. 178–191.