



УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-5-9-9

**ПРОПИТКА ПЛЕНОЧНЫМ СВЯЗУЮЩИМ (RFI) КАК
ПЕРСПЕКТИВНАЯ БЕЗАВТОКЛАВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПКМ**

П.Н. Тимошков

А.А. Платонов

А.В. Хрульков

Май 2015

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.

П.Н. Тимошков¹, А.А. Платонов¹, А.В. Хрульков¹

ПРОПИТКА ПЛЕНОЧНЫМ СВЯЗУЮЩИМ (RFI) КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ БЕЗАВТОКЛАВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПКМ

Произошедший в 2000-х годах стремительный рост доли полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях гражданских самолетов позволил добиться существенных результатов в снижении массы, увеличении надежности и ресурса. Однако остро встал вопрос снижения стоимости конструкций из ПКМ, которые всегда были дороже аналогичных деталей из металла. Во многом высокая стоимость изделий из ПКМ определяется большой трудоемкостью и энергоемкостью автоклавной технологии их изготовления, наиболее широко применяемой в настоящее время в авиационной промышленности, а также высокой стоимостью оборудования. В последние годы в ВИАМ активно проводятся работы по развитию безавтоклавных методов изготовления деталей из ПКМ. В статье приведены результаты работ, выполненных в ВИАМ по разработке ПКМ на основе тканых наполнителей, полученных методом пропитки пленочным связующим. Представлены сравнительные упруго-прочностные характеристики полученного углепластика.

Ключевые слова: композиционный материал, углепластик, пропитка пленочным связующим, RFI, безавтоклавные технологии.

P.N. Timoshkov, A.A. Platonov, A.V. Khrulkov

FILM RESIN INFUSION AS AN ADVANCED METHOD FOR OUT-OF-AUTOCLAVE PROCESSING OF POLYMER COMPOSITES

A rapid increase in the portion of polymer composite materials (PCM) in structures of civil aircraft occurred in the 2000-s, allowed to increase significantly reliability and service life of aviation equipment and to reduce its weight. However, there was a vital problem to reduce the cost of PCM structures, which always were more expensive than similar parts made of metal. In many ways, the high cost of PCM products depends on high labor- and power consumption of autoclave technology, which at present is most widely used in the aircraft industry, as well as by high costs of relevant equipment. In recent years, VIAM actively develops the out-of-autoclave production of PCM parts. The results of the works performed by VIAM to develop PCM-based woven fillers produced by impregnation with film binder are described. Comparative elastic-strength characteristics of the produced carbon fiber-reinforced plastic are given.

Keywords: composite material, carbon fiber-reinforced plastic, impregnation with film binder, RFI, out-of-autoclave technology.

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

Объемы применения композиционных материалов в авиации, аэрокосмической технике и в других различных отраслях промышленности растут с каждым годом. Это объясняется широчайшим спектром характеристик, которые можно реализовать в изделиях при использовании композитов [1]. Разумеется, все это было бы невозможно без

внедрения новых материалов и технологий их производства.

Одной из самых распространенных технологий получения изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) является метод автоклавного формования. Заготовка будущего изделия помещается в автоклав (рис. 1), где из вакуумного мешка, в который помещена заготовка, удаляется воздух (создается вакуум), снаружи подается избыточное давление в ~6–8 ат и заготовка выдерживается в таких условиях до полного отверждения [2]. Изделия из ПКМ, полученные таким способом, обладают очень высокими свойствами благодаря высокой однородности и уплотненности материала и низким значениям пористости. Обычно такие материалы применяются в высоконагруженных деталях авиационной техники.

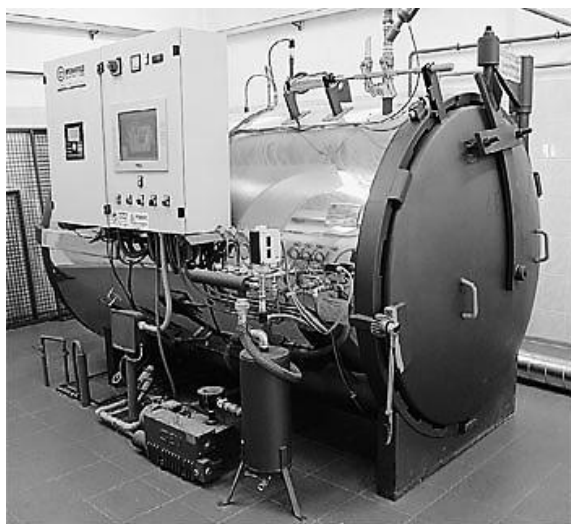


Рис. 1. Современный автоклав фирмы Magnabosco (Италия)

Однако этот метод имеет и свои недостатки: высокая стоимость оборудования, большое потребление энергии, высокая стоимость оснастки, ограничения по размеру формуемых деталей.

При этом далеко не во всех случаях востребованы такие высокие показатели свойств получаемого материала. К примеру, для средне- и слабонагруженных деталей авиационной техники, в автомобильной промышленности, строительстве и многих других отраслях применение автоклавного метода зачастую невозможно или экономически нецелесообразно. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется развитию так называемых безавтоклавных методов получения изделий из ПКМ. Одним из таких методов является метод пропитки пленочным связующим (RFI – resin film infusion), позволяющий получить ПКМ с высоким уровнем физико-механических свойств. Помимо прочего RFI-метод формования достаточно экономически эффективная технология, позволяющая значительно снизить трудоемкость изготовления деталей из ПКМ по сравнению с традиционным препрегово-автоклавным методом [3].

При получении изделий по этому методу требуется лишь вакуумная печь и оснастка с размещенным на ней предварительно собранным пакетом для формования. Избыточного давления для получения детали по такому методу не требуется. В отличие от автоклавного метода формования, где для сборки пакета требуется препрег – заранее пропитанный связующим армирующий наполнитель, здесь препрег не обязателен – можно использовать непропитанный заранее собранный тканый армирующий наполнитель (преформа), на который просто выложен слой пленки связующего (рис. 2). Это также удешевляет процесс производства, позволяя экономить на исходных материалах [4].

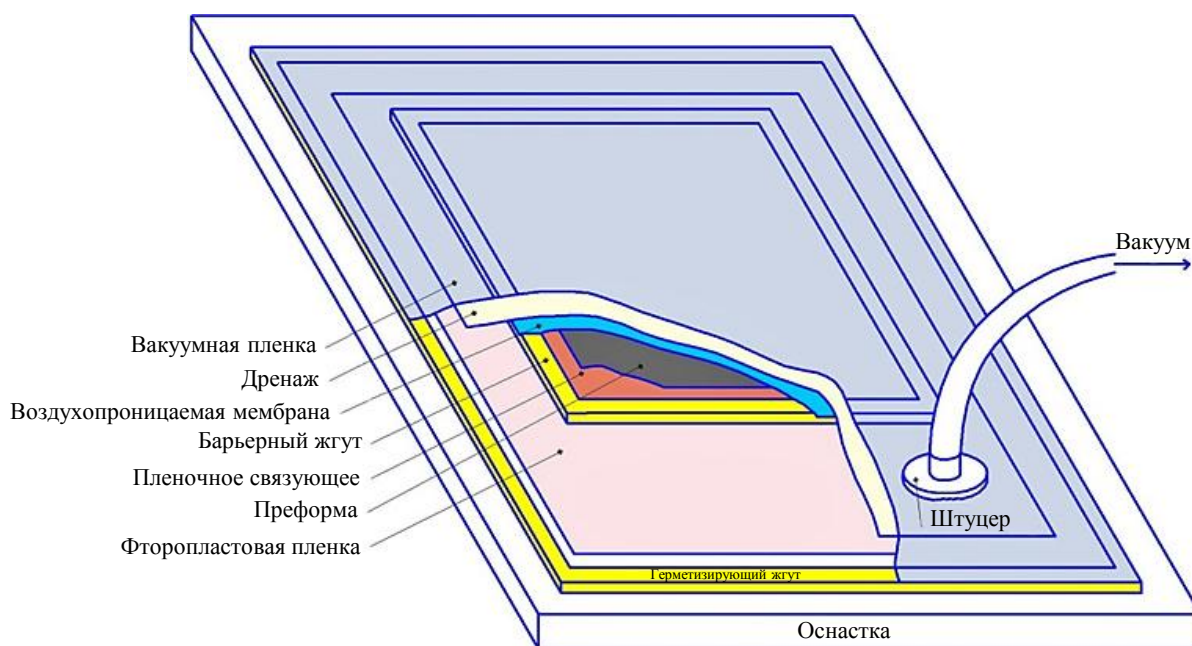


Рис. 2. Технологический пакет для RFI технологии

Необходимо отметить, что для получения изделий методом пропитки пленочным связующим используют связующие с особой реологией – вязкость их должна быть существенно (в 2–3 раза) ниже, чем у тех, что применяются в автоклавном формовании. Продолжительность гелеобразования таких связующих также должна обеспечивать при формовании полную пропитку армирующего наполнителя в пакете [3].

Материалы и методы

Для получения заготовок преформ использовали углеродный тканый наполнитель арт. 3101 на основе жгутов Tenax HTA 5131 3k производства ООО «Порше современные материалы», которое в 2012 году открыло ткацкое производство в Калужской области, и эпоксидные связующие ВСЭ-19 и ВСЭ-20, разработанные в ВИАМ, с уровнем рабочих температур 170 и 120°C соответственно [5].

Переработку связующего в пленки производили на установке Coateama LS-11

(рис. 3), позволяющей получать пленки с поверхностной плотностью от 200 до 800 г/м².

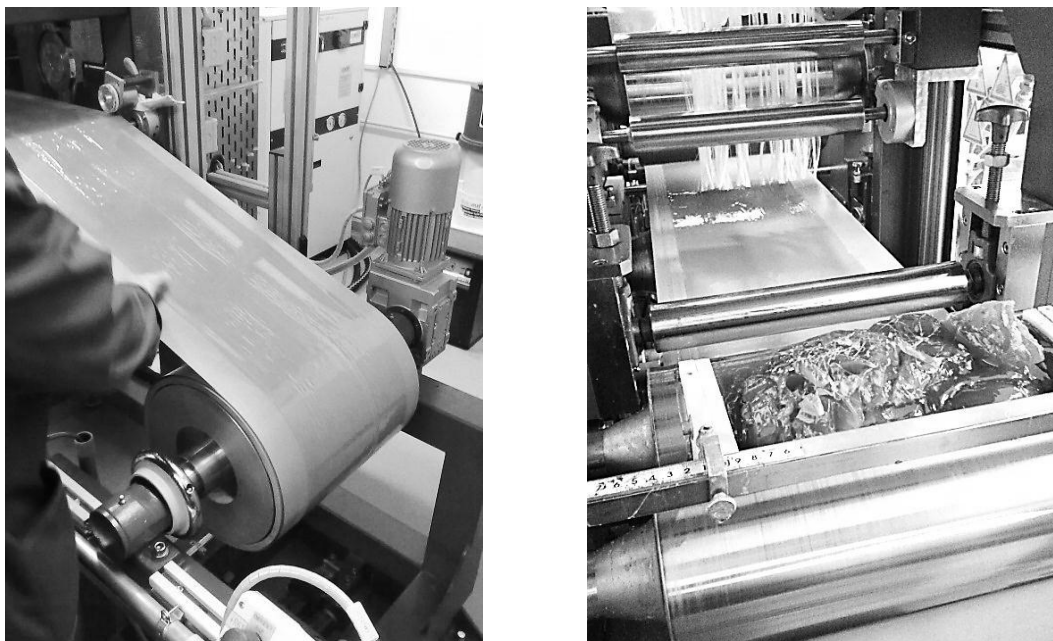


Рис. 3. Получение пленки связующего на установке Coateama LS-11

Формование образцов ПКМ проводили в термошкафу, что позволило уйти от дорогостоящего и трудоемкого автоклавного метода формования и таким образом снизить трудоемкость изготовления деталей на 20% [6].

Результаты

В ВИАМ активно проводят разработку материалов и технологий переработки по методу пропитки пленочным связующим. В рамках этих работ разработаны два вида полимерного связующего для RFI-технологии: ВСЭ-19 и ВСЭ-20 (см. таблицу) [7].

Связующее ВСЭ-19 обеспечивает рабочую температуру изделий до 170°C и реализует показатели физико-механических свойств, достаточных для применения в средне- и слабонагруженных крупногабаритных изделиях авиационной техники и в других различных отраслях промышленности.

Связующее ВСЭ-20 обеспечивает рабочую температуру изделий до 120°C и реализует более высокие относительно связующего ВСЭ-19 показатели прочности при межслойном сдвиге и сжатии после удара.

Углепластики ВКУ-40 и ВКУ-41 прошли полный цикл испытаний в соответствии с программой паспортизации авиационных материалов, в ходе которых определены основные упруго-прочностные характеристики, стойкость к воздействию агрессивных сред, специальных жидкостей, масел и топлив, стойкость к долговременному

воздействию природных климатических условий в различных климатических зонах, проведены испытания на термовлажностное старение и долговременную тепловую прочность [8]. В результате проведенных испытаний установлено, что разработанные углепластики имеют высокий процент сохранения упруго-прочностных и физико-химических свойств (>70%) после воздействия различных факторов, что подтверждает возможность их применения в деталях авиационной техники во всеклиматических условиях [9–11].

**Свойства углепластиков на основе связующих ВСЭ-19 и ВСЭ-20
и углеродной ткани фирмы Porcher арт. 3101**

Показатели	Значения показателей углепластика на основе связующего			
	ВСЭ-19		ВСЭ-20	
	при температуре испытания, °С			
	20	170	20	120
Предел прочности, МПа:				
– при растяжении	700	690	660	600
– при сдвиге	50	33	65	54
– при изгибе	1120	899	980	790
– при сжатии	630	530	670	500
Остаточная прочность при сжатии после удара, МПа	190	–	240	–
Температура стеклования, °С	212		160	

Можно с уверенностью говорить о том, что у метода пропитки пленочным связующим (RFI) – хорошие перспективы для развития и широкие возможности внедрения в различные отрасли современной промышленности.

Обсуждение и заключения

В работе проводились исследования по возможности пропитки преформ на основе углеродного тканого наполнителя методом RFI. Этот метод обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогичными методами формования ПКМ, главными из которых являются уменьшение трудоемкости и достаточно низкая стоимость процесса. Установлено, что для изготовления толстостенных изделий (толщиной >5 мм) по методу пропитки пленочным связующим целесообразно использовать послойную выкладку, так как это позволит реализовать хорошее качество пропитки, низкую пористость и высокие показатели физико-механических свойств в изделии [12].

При изготовлении ПКМ методом RFI пленка связующего формируется заранее, что позволяет изготавливать пластики с определенным предварительно рассчитанным объемным содержанием наполнителя [13]. При формовании ПКМ связующее пропитывает преформу в поперечном направлении, что обеспечивает более качественную пропитку и, как результат, получение ПКМ с низким процентом содержания пор ($V_{\text{пор}} < 3\%$ объемн.) [14].

При исследовании и разработке ПКМ на основе углеродных тканых преформ фирмы Porcher Ind. и полимерных пленочных связующих марок ВСЭ-19 и ВСЭ-20 разработаны новые марки углепластиков – ВКУ-40 и ВКУ-41, которые предназначены для изготовления слабо- и средненагруженных деталей и конструкций с уровнем рабочих температур 120 и 170°C соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
3. Хрульков А.В., Душин М.И., Попов Ю.О., Коган Д.И. Исследования и разработка автоклавных и безавтоклавных технологий формования ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 292–301.
4. Чурсова Л.В., Душин М.И., Коган Д.И., Панина Н.Н., Ким М.А., Гуревич Я.М., Платонов А.А. Пленочные связующие для RFI-технологии //Российский химический журнал. 2010. №1. С. 63–66.
5. Бабин А.Н. Связующие для полимерных композиционных материалов нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4 (viam-works.ru).
6. Постнова М.В., Постнов В.И. Опыт развития безавтоклавных методов формования ПКМ //Труды ВИАМ. 2014. №4. Ст. 06 (viam-works.ru).
7. Способ получения композиционного материала: пат. №2246379 Рос. Федерация; опубл. 25.02.2004.
8. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. I. Механизмы старения //Деформация и разрушение материалов. 2010. №11. С. 19–27.
9. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения //Деформация и разрушение материалов. 2011. №1. С. 34–40.
10. Кириллов В.Н., Старцев О.В., Ефимов В.А. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути решения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 412–423.
11. Мелёхина М.И., Кавун Н.С., Ракитина В.П. Эпоксидные стеклопластики с улучшенной влаго- и водостойкостью //Авиационные материалы и технологии. 2013. №2. С. 29–31.
12. Душин М.И., Мухаметов Р.Р., Платонов А.А., Меркулова Ю.И. Исследование фильтрационных характеристик армирующих наполнителей и связующих при разработке технологии без-

автоклавного формования полимерных композиционных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2013. №2. С. 22–25.

13. Платонов А.А., Коган Д.И., Душин М.И. Изготовление трехмерноармированных ПКМ методом пропитки пленочным связующим //Пластические массы. 2013. №12. С. 56–61.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Dushin M.I., Hrul'kov A.V., Platonov A.A., Ahmadijeva K.R. Bezavtoklavnoe formovanie ugleplastikov na osnove prepregov, poluchennyh po rastvornoj tehnologii [Bezavtoklavnoye formation ugleplastikov on the basis of the prepregs received on solution technology] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 43–48.
3. Hrul'kov A.V., Dushin M.I., Popov Ju.O., Kogan D.I. Issledovanija i razrabotka avtoklavnyh i bezavtoklavnyh tehnologij formovanija PKM [Researches and development of avtoklavny and bezavtoklavny technologies of formation of PKM] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 292–301.
4. Chursova L.V., Dushin M.I., Kogan D.I., Panina N.N., Kim M.A., Gurevich Ja.M., Platonov A.A. Plenochnye svjazujushhie dlja RFI-tehnologii [Film binding for RFI technology] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. №1. С. 63–66.
5. Babin A.N. Svjazujushhie dlja polimernyh kompozicionnyh materialov novogo pokolenija [Binding for polymeric composite materials of new generation] //Trudy VIAM. 2013. №4 (viam-works.ru).
6. Postnova M.V., Postnov V.I. Opyt razvitija bezavtoklavnyh metodov formovanija PKM [Experience of development of bezavtoklavny methods of formation of PKM] //Trudy VIAM. 2014. №4. St. 06 (viam-works.ru).
7. Sposob poluchenija kompozicionnogo materiala [Way of receiving composite material]: pat. №2246379 Ros. Federacija; opubl. 25.02.2004.
8. Kablov E.N., Starcev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Klimaticheskoe starenie kompozicionnyh materialov aviacionnogo naznachenija. I. Mehanizmy starenija [Climatic aging of composite materials of aviation assignment. I. Aging mechanisms] //Deformacija i razrushenie materialov. 2010. №11. С. 19–27.
9. Kablov E.N., Starcev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Klimaticheskoe starenie kompozicionnyh materialov aviacionnogo naznachenija. III. Znachimye faktory starenija [Climatic aging of composite materials of aviation assignment. III. Significant factors of aging] //Deformacija i razrushenie materialov. 2011. №1. С. 34–40.
10. Kirillov V.N., Starcev O.V., Efimov V.A. Klimaticheskaja stojkost' i povrezhdaemost' polimernyh kompozicionnyh materialov, problemy i puti reshenija [Climatic firmness and damageability of

- polymeric composite materials, problems and solutions] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 412–423.
11. Meljohina M.I., Kavun N.S., Rokitina V.P. Jepoksidnye stekloplastiki s uluchshennoj vlago- i vodostojkost'ju [Epoxy fibreglasses with improved vlago-and water resistance] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №2. S. 29–31.
 12. Dushin M.I., Muhametov R.R., Platonov A.A., Merkulova Ju.I. Issledovanie fil'tracionnyh harakteristik armirujushhih napolnitelej i svjazujushhih pri razrabotke tehnologii bezavtoklavnogo formovanija polimernyh kompozicionnyh materialov [Research of filtrational characteristics of reinforcing fillers and binding when developing technology of bezavtoklavny formation of polymeric composite materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №2. S. 22–25.
 13. Platonov A.A., Kogan D.I., Dushin M.I. Izgotovlenie trehmernoarmirovannyh PKM metodom propitki plenochnym svjazujushhim [Manufacturing of trekhmernoarmirovanny PKM by method of impregnation by the film binding] //Plasticheskie massy. 2013. №12. S. 56–61.