

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-67-71

*М.М. Григорьев<sup>1</sup>, Д.И. Козан<sup>1</sup>, Ю.А. Гусев<sup>1</sup>, Я.М. Гуревич<sup>1</sup>***ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПКМ  
МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ФОРМОВАНИЯ ПРЕПРЕГА**

*Представлены результаты исследования процесса получения ПКМ методом вакуумного формования пакета препрега. Приведены данные изменения толщины полученных образцов пластика в зависимости от технологии изготовления полуфабриката-препрега.*

**Ключевые слова:** безавтоклавное формование, препрег, семипрег, содержание связующего, пористость, толстостенные изделия, полимерные композиционные материалы.

*The results of the research process of obtaining PCM vacuum-formed package prepreg. The data obtained by varying the thickness of samples of plastics, depending on the technology of semi-prepreg.*

**Keywords:** out-of-autoclave molding, prepreg, semi-prepreg, resin content, porosity, thick-walled products, polymeric composites.

<sup>1</sup>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

**Введение**

Автоклавы используются в большинстве коммерческих самолетостроительных компаний для производства композиционных конструкций. Полученные таким методом изделия, как правило, обладают высоким уровнем физико-механических свойств, но для этого необходимы высокие капиталовложения в оборудование, а также повышенные эксплуатационные расходы. В настоящее время все большее внимание уделяется развитию на новом уровне безавтоклавных технологий, позволяющих существенно снизить затраты на производство изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) [1–3]. Безавтоклавные технологии позволяют производить изделия из ПКМ с использованием только давления вакуума, тем самым устраняя необходимость покупки и эксплуатации автоклава [4].

В ВИАМ в последние годы проводится ряд научно-исследовательских работ, направленных на поиск различных технологий изготовления композитов с использованием низкого давления. К числу приоритетных альтернативных технологий, с помощью которых можно получить композиты с высоким уровнем упругопрочностных свойств, относятся пропитка под давлением (RTM-технология) и пропитка под вакуумом (VARTM). К числу таких технологий изготовления можно отнести также технологию получения композиционных материалов с использованием пленочных связующих (RFI-технология) [5–7].

**Материалы и методы**

В технологиях, где производство изделий из полимерных композиционных материалов происходит путем совмещения полимерного связующе-

го и наполнителя непосредственно на оснастке открытого типа, таких как вакуумная инфузия, есть существенный недостаток – это сложность контролирования содержания связующего в готовом изделии, что приводит к разнотолщинности и существенному разбросу физико-механических свойств. Для контроля содержания связующего в изделии можно использовать две жесткие полуматрицы (технология RTM), что приводит к существенному аппаратному усложнению процесса.

Одним из наиболее эффективных методов регулирования содержания связующего в готовом пластике является использование препрегов, так как процесс получения ПКМ разделен на две стадии. На первой – при помощи пропиточной машины происходит совмещение связующего и наполнителя. Современное оборудование позволяет эффективно регулировать и контролировать массовую долю связующего в препреге. На второй стадии происходит процесс формования изделия из пакета препрега. Предполагается, что к моменту завершения процесса формования должен быть полностью удален избыток связующего из каждого слоя препрега [8–10]. Правильная сборка технологического пакета позволяет предотвратить излишнее вытекание связующего из него, что обеспечивает сохранение необходимого количества связующего в получаемом ПКМ.

Использование стандартных препрегов, разработанных для их переработки автоклавным способом, при изготовлении деталей без применения избыточного давления может привести к существенному снижению прочности готового изделия из-за высокой пористости пластика [11–15]. Необходимо отметить, что на данный момент в стране отсутствуют препреги, разработанные непосред-

Таблица 1

## Физико-механические характеристики пластиков на основе материала ВСЭ-22/HTS-45

Вид испытания	ВСЭ-22/HTS-45	ВСЭ-1212/HTS-45
Прочность при сжатии при укладке слоев [0°], МПа	1230	1300
Прочность при межслоевом сдвиге методом короткой балки при укладке слоев [0°], МПа	100	110
Прочность при сдвиге в плоскости листа при укладке слоев [±45°], МПа	75	90

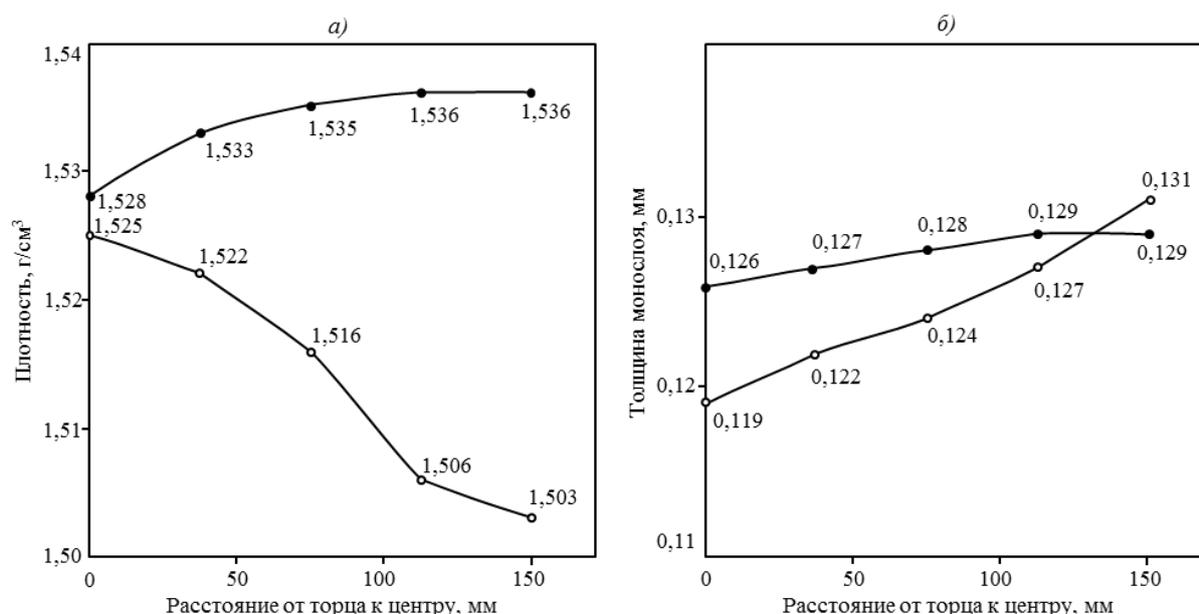


Рис. 1. Изменение плотности (а) и толщины монослоя (б) пластика (○, ● – препрег и семипрепг соответственно) по расстоянию от торца к центру

ственно для переработки по технологии вакуумного формования, в то время как за рубежом мировыми лидерами в области ПКМ разработан ряд связующих и ПКМ на их основе, позволяющих изготавливать изделия по данной технологии.

Для решения проблемы высокой пористости в толстостенных изделиях, изготовленных по методу формования под вакуумом без использования избыточного давления, необходимо решить две задачи: создать связующее с необходимыми реологическими характеристиками, а также разработать технологию изготовления полуфабрикатов, обеспечивающих получение изделий с низкой пористостью [16].

### Результаты

В ВИАМ разработано связующее ВСЭ-22, которое отвечает требованиям к связующему, применяемому для безавтоклавного формования пакета препрега, а именно – имеет необходимые реологические свойства: при комнатной температуре дает возможность удаления воздуха из сборки препрега, а при повышенной температуре способствует монолитизации материала [17–19].

На основе связующего ВСЭ-22 и жгутового углеродного наполнителя HTS-45 был изготовлен

препрег, из него методом вакуумного формования были изготовлены плиты углепластика габаритом 300×300 мм, толщиной 2 мм – для оценки качества получаемого пластика. Исследование объемных характеристик данных плит показало, что их пористость составила <3%, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к силовым и ответственным конструкциям из ПКМ [20–23]. Исследованы также физико-механические свойства полученного углепластика. Результаты исследования в сравнении с традиционным углепластиком, получаемым методом автоклавного формования, представлены в табл. 1.

Данные, приведенные в табл. 1, наглядно показывают, что физико-механические свойства углепластиков, полученных по безавтоклавной технологии, несущественно уступают материалу, полученному по традиционной автоклавной технологии.

Для оценки применимости технологии вакуумного формования препрега в толстостенных конструкциях из препрега на основе связующего ВСЭ-22 и наполнителя HTS-45 изготовлена плита габаритом 300×300 мм с укладкой [0/90°] и толщиной 7 мм (60 слоев). Исследование объемных характеристик полученного пластика показало, что его пористость превысила допустимые 3%. Обнаружен

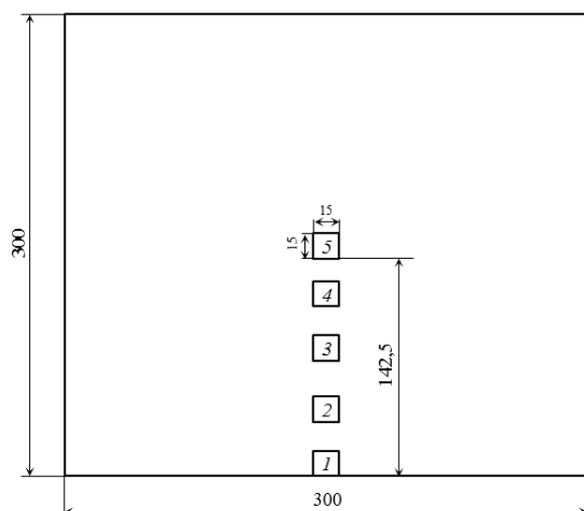


Рис. 2. Схема вырезки образцов

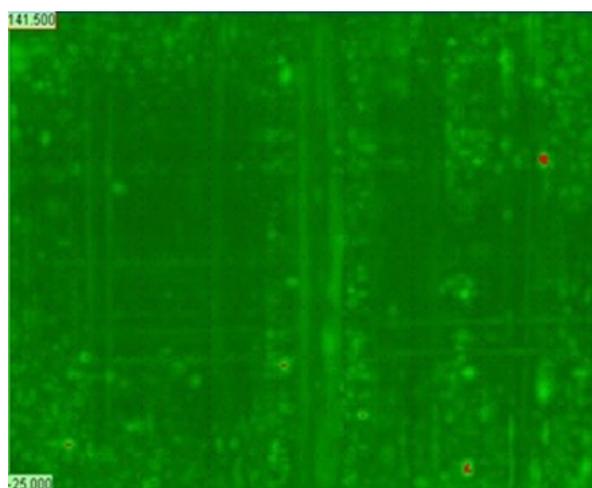


Рис. 3. Данные неразрушающего контроля плиты толщиной 26 мм (200 слоев)

Таблица 2

Объемные характеристики плиты толщиной 26 мм (200 слоев)

Толщина	Толщина монослоя	Плотность пластика, г/см <sup>3</sup>	Массовое содержание связующего	Объемное содержание наполнителя	Объемная пористость
26,14	0,131	1,533	33	58,5	0,76

также существенный разброс физических свойств (плотности углепластика и толщины его монослоя – рис. 1) по площади плиты, что приводит к повышению коэффициента вариации физико-механических свойств в детали и, следовательно, к необходимости увеличения коэффициента запаса по прочности конструкции.

Такая высокая пористость в толстостенной плите вызвана тем, что при выкладке пакета для формования из препрега происходит слипание слоев, что приводит к образованию воздушных полостей между ними. Эти полости можно удалить при помощи прикатки слоев препрега фторопластовым валиком, а также промежуточным вакуумированием. Однако при прикатке воздушные полости в большинстве своем распространяются в межслоевом пространстве, и только самые крупные частично удаляются. При промежуточном вакуумировании в момент подачи вакуума в первую очередь происходит обжатие торцов сборки, что существенно затрудняет удаление воздуха из межслоевого пространства. Необходимо также отметить, что процесс промежуточного вакуумирования составляет ~10 мин и проводится через каждые несколько слоев препрега, что существенно увеличивает время сборки технологического пакета. Таким образом, изготовление крупногабаритных толстостенных изделий с использованием

классического препрега становится трудоемким и не всегда эффективным процессом.

Для таких изделий решено использовать полуфабрикаты, изготовленные по технологии семипрегов. Суть технологии заключается в том, что при изготовлении препрега на стадии совмещения наполнителя с пленкой связующего происходит лишь частичная пропитка наполнителя. Непропитанные части слоев наполнителя в собранном пакете препрега выполняют функцию дренажных каналов для полноценного удаления воздуха из заготовки. В процессе формования материала на определенном этапе связующее приобретает низкую вязкость, которая обеспечивает его равномерное распределение по объему пакета и окончательную пропитку наполнителя.

Из полученного по разработанной технологии семипрега также изготовлена плита углепластика габаритом 300×300 мм с укладкой слоев [0/90°] и толщиной 7 мм (60 слоев). Из полученных плит изготовлены образцы размером 15×15 мм по схеме, представленной на рис. 2.

На основании исследования физических свойств полученных образцов построены графики изменения плотности и толщины плиты по расстоянию от торца к центру (см. рис. 1). Графики наглядно показывают, что в случае использования препрега плотность значительно снижается от

торца к центру, что свидетельствует о повышении пористости. Наблюдается существенное изменение толщины монослоя. В случае семипрега изменение плотности незначительно. Исследование образцов показало, что пористость углепластика не превысила 1%, толщина монослоя полученного изделия также практически не меняется.

Для подтверждения полученных результатов из того же семипрега изготовлена плита габаритом 300×300 мм с укладкой слоев [0°/90°] и толщиной 26 мм (200 слоев).

После изготовления плита исследована высокочастотным эхо-импульсным ультразвуковым методом контроля с использованием фазированных решеток для оценки наличия и размеров дефектов. Результаты исследования представлены на рис. 3. Красные области свидетельствуют о наличии локальных дефектов. По местам дефектов были сделаны срезы. Визуальный контроль показал, что данные области вызваны локальными

дефектами препрега, при этом пористость углепластика в данной области не превысила 1%.

Из плиты толщиной 26 мм изготовлены образцы для определения физических свойств. Средние показатели этих свойств, приведенные в табл. 2, наглядно демонстрируют, что данный материал пригоден для изготовления толстостенных конструкций толщиной не менее 25 мм.

#### Заключение

Проведенные исследования показали, что углепластик, получаемый на основе связующего ВСЭ-22 с применением разработанной технологии семипрегов, обладает физико-механическими свойствами, близкими к ПКМ, получаемым по традиционной автоклавной технологии, что позволяет использовать разработанный материал в силовых и особо ответственных конструкциях летательных аппаратов, в том числе толстостенных, таких как панели крыла, элементы силового набора, элементы хвостового оперения и др.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
2. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
3. Коган Д.И., Чурсова Л.В., Петрова А.П. Полимерные композиционные материалы, полученные путем пропитки пленочным связующим //Композиционные материалы. 2011. №11. С. 2–6.
4. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Абрамов П.А. Пути повышения качества деталей из ПКМ при вакуумном формовании //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. №4(3). С. 831–838.
5. Минаков В.Т., Постнов В.И., Хрульков А.В., Постнов А.В., Плетинь И.И. Особенности склеивания деталей из ПКМ с использованием полимерной оснастки //Клеи. Герметики. Технологии. 2008. №5. С. 24–29.
6. 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. 38–22.
7. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб.: НОТ. 2008. 820 с.
8. Кербер М.Л., Виноградов В.М. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. СПб.: Профессия. 2009. 560 с.
9. Алентьев А.Ю., Яблокова М.Ю. Связующие для полимерных композиционных материалов: Учеб. пособие. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. 2010. 69 с.
10. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Ким М.А., Бабин А.Н. Расплавные связующие для перспективных методов изготовления ПКМ нового поколения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 260–265.
11. Химическая промышленность: Обзорная информация. Сер. «Эпоксидные смолы и материалы на их основе». «Отвердители для эпоксидных смол». М.: НИИТЭХИМ. 1983. 39 с.
12. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1998. 513 с.
13. Препреги и изделие, выполненное из него: пат. 2427594 Рос. Федерация; опубл. 21.12.2009.
14. Эпоксидное связующее для препрегов, препрег на его основе и изделие, выполненное из него: пат. 2335515 Рос. Федерация; опубл. 25.10.2006.
15. Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из него: пат. 2424259 Рос. Федерация; опубл. 22.10.2009.
16. Крыжановский В.К. Производство изделий из полимерных материалов. СПб.: «Профессия». 2008. 460 с.
17. 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. Т. LIV. №1. С. 63–66.
18. Коган Д.И. Технология изготовления полимерных композиционных материалов способом пропитки пленочным связующими: Автореф. дис. к.т.н. М.: ВИАМ. 2011. 26 с.
19. Афанасьев Д.В., Ощепков М.Ю. Безавтоклавные технологии //Композитный мир. 2010. №9–10. С. 28–37.
20. 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. Т. LIV. Спец. вып. «Материалы для авиакосмической техники». С. 63–67.
21. Хрульков А.В., Душин М.И., Попов Ю.О., Коган Д.И. Исследование и разработка автоклавных и безавтоклавных технологий формования ПКМ

- 
- //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 292–301.
22. 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.
23. Донецкий К.И., Хрульков А.В., Коган Д.И., Белинис П.Г., Лукьяненко Ю.В. Применение объемно-армирующих преформ при изготовлении изделий из ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 35–39.