

УДК 629.735

А.В. Андреев, канд. техн. наук,
З.Н. Демиденко,
В.А. Андреева

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛНОЧНЫХ СВЯЗУЮЩИХ ПРИ СОЗДАНИИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПАССАЖИРСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ САМОЛЕТОВ

В настоящее время увеличение объемов применения композиционных материалов (КМ) и конструкций на их основе является одной из приоритетных задач, которые стоят перед компаниями разработчиками и производителями высокотехнологичной техники, в том числе авиационной. Для авиационной отрасли причины этой тенденции известны – улучшение летно-технических характеристик самолетов, повышение их эксплуатационной и экономической эффективности за счет снижения массы агрегатов, составляющих планер, и расхода топлива в эксплуатации, а также снижения трудоемкости серийного производства и повышения производительности труда.

Работа в этом направлении приводит к необходимости разработки и внедрения более современных, универсальных, а порой и более простых, технологических процессов (ТП) при разработке новых конструктивно-технологических решений в области проектирования и производства композитных деталей. Для этого необходимо решать вопросы, которые возникают в ходе проектирования и производства конструкций из КМ: значительная часть ручного труда в производстве и, как следствие, высокая трудоемкость изготовления деталей, использование энергетически емкого оборудования (типа автоклавов, печей) для формования деталей, недостаток автоматизированных этапов ТП.

Одним из возможных путей совершенствования и сокращения цикла ТП создания конструкций из КМ является внедрение безавтоклавных методов формования конструкций, которые получают все большее распространение благодаря своим преимуществам по сравнению с традиционными препреговыми технологиями (рис. 1) [1].

Одним из множества технологических приемов безавтоклавного формования является технология RFI (resin film infusion), которая подразумевает использование безрастворных пленочных связующих (ПС).

Эта технология получила широкое распространение благодаря комплексу преимуществ в сравнении с препреговым методом, среди которых следует отметить следующие:

- нет необходимости в использовании автоклавов (для связующих, не требующих избыточного давления при формовании достаточно проводить режим формования под действием вакуума в печи), что ведет к уменьшению энергетических затрат;

- сокращение производственного цикла изготовления деталей за счет исключения процесса пропитки сухих армирующих материалов;
- более низкая стоимость пленочных связующих по сравнению с растворными связующими (снижение затрат более чем в 1,5 раза);
- уменьшение влияния вредных и опасных паров растворных эпоксидных и фенольных связующих на организм рабочего персонала;
- возможность использования пленочного связующего для широкого спектра армирующих наполнителей, в том числе плетеных армирующих заготовок высокой степени готовности [2].

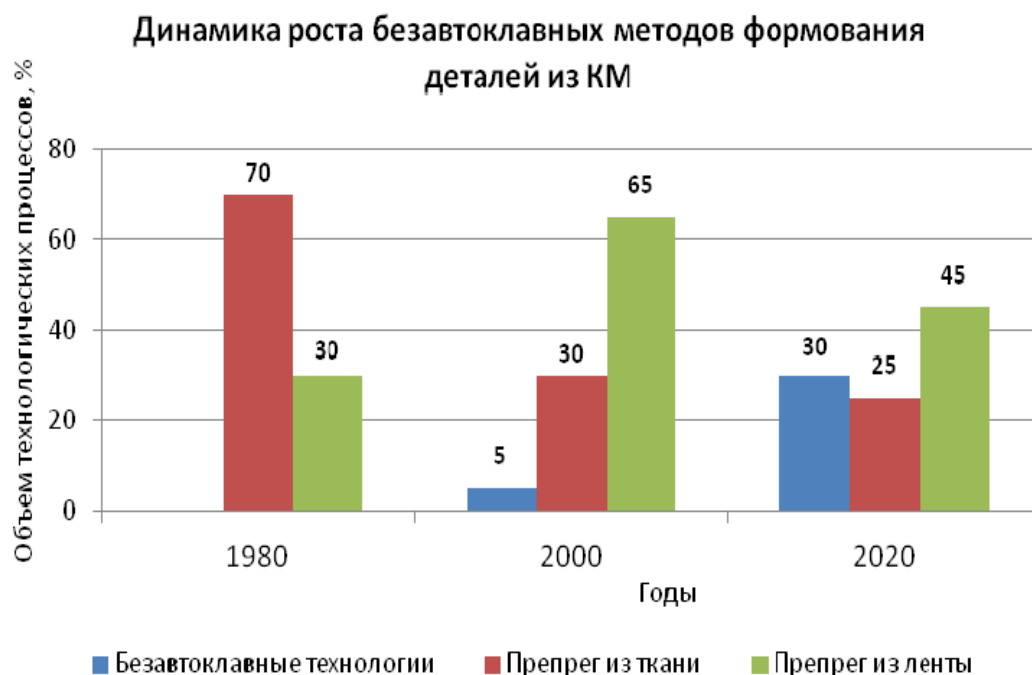
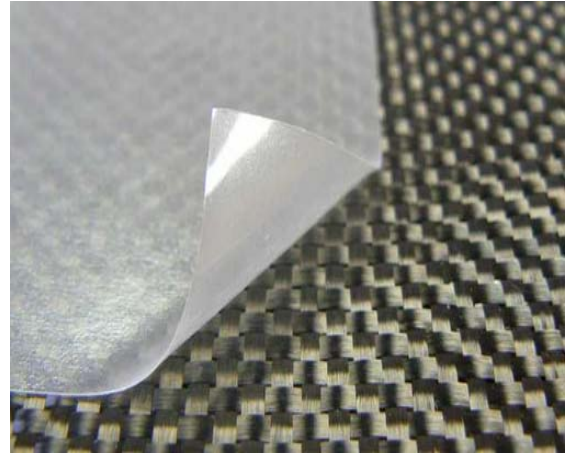
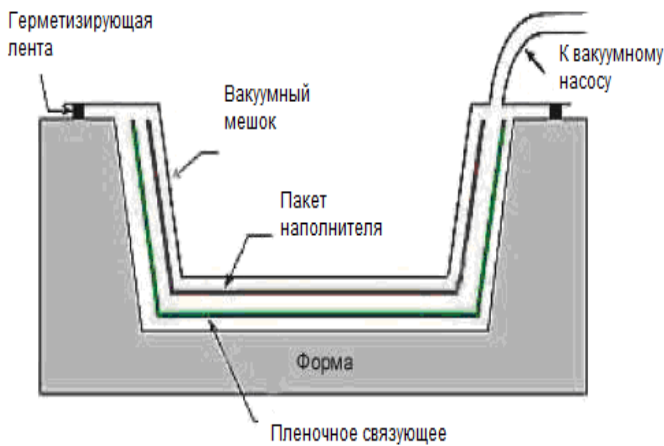


Рисунок 1 – Динамика роста безавтоклавных методов производства деталей из КМ

Технология RFI заключается в послойной выкладке сухих армирующих наполнителей и ПС, взятого в определенном массовом соотношении (рис. 2). При нагревании под воздействием вакуумного давления происходит расплавление связующего и его просачивание в структуру армирующего наполнителя.

Примеров применения пленочных связующих достаточно много. Из иностранных литературных источников известно, что одной из самых больших конструкций, изготовленных по технологии RFI с применением ПС, является задняя створка грузолюка самолета А-400М европейского концерна «AIRBUS» [2].

Преимуществами ПС является также то, что в отличие от применяемых связующих их можно использовать как для изготовления монолитных, так и трехслойных конструкций, причем в трехслойных конструкциях ПС используют как для ламинации слоев армирующих наполнителей, так и в качестве пленочного клея для соединения сотового наполнителя с обшивками.



а

б

Рисунок 2 – Схема технологического пакета RFI и фотопленочного связующего:

а – технологический пакет RFI; б – пленочное связующее

Исследование технологических свойств ПС и прочностных характеристик КМ на их основе является актуальной задачей, в результате решения которой необходимо определить области применения некоторых типов ПС в конструкциях самолетов с обеспечением требований, предъявляемых к применяемым в настоящее время паспортизованным материалам.

Для проведения исследовательских работ использовали ПС производства чешской фирмы «5М». Одним из условий выбора ПС являлось их отверждение без автоклава с применением только вакуумного давления (табл. 1).

Для изготовления монолитных панелей использовали стеклоткань Т-10-80 и комбинированную стеклоткань Т-42/1-76 как наиболее широко распространенные армирующие наполнители при изготовлении деталей из КМ. Образцы панелей изготавливались с различной комбинацией слоев армирующего наполнителя и пленочного связующего различных типов, которые приведены в табл.1. Изготовлено порядка 10 различных вариантов образцов для проведения физико-механических испытаний и определения характеристик пластика.

Количество слоев пленочного связующего для монолитных панелей определяли расчетным путем при условии обеспечения содержания связующего в пластике порядка 40% по массе.

Технология изготовления монолитных панелей представляет собой последовательность выполнения таких операций:

- подготовка формообразующей поверхности оснастки (обезжиривание, нанесение разделительного состава);
- раскрой заготовок сухого армирующего наполнителя;
- раскрой заготовок ПС;
- взвешивание заготовок сухого армирующего наполнителя;

- последовательная выкладка слоев ПС и армирующего наполнителя на формообразующую поверхность оснастки. Особенностью последовательной выкладки является необходимость укладки первого и последнего слоев пакета из пленочного связующего для обеспечения качественной пропитки этих слоев в течение режима термообработки детали.

Таблица 1 – Свойства пленочных связующих

Марка ПС	Плотность, г/см ³	Рекомендуемые параметры отверждения ПС			Краткая характеристика ПС
		$T_{отв}$, °C	$t_{отв}$, мин	$P_{отв}$, МПа	
LFX 023	1,19	120	60	0,075-0,09	Эпоксидное (базовое) ПС, может использоваться со всеми типами армирующих наполнителей, $T_{экспл}$ от минус 75 до плюс 100°C
LFX 054	1,15	120	60	0,075-0,09	ПС низкой вязкости для легкого пропитывания волокон, может применяться со всеми типами армирующих материалов, $T_{экспл}$ от минус 75 до плюс 100°C
LFX 056	1,35	120	60	0,075-0,09	ПС с обеспечением характеристики самозатухания согласно требованиям FAR 25 $T_{экспл}$ от минус 75 до плюс 100°C
LFX 162	1,28	120 или 80	60 или 240	0,075-0,09	«Ускоренная» модификация ПС LFX 023, может отверждаться при пониженной температуре (плюс 80°C), что дает возможность использовать мастер-модели, которые не могут длительно выдерживать повышенные температуры
LFX 062	1,19	120	45	0,075-0,09	Фенольное самозатухающее ПС, применяется для монолитных и сотовых конструкций, эксплуатируемых в интервале температур от минус 75 °C до плюс 100°C

После проведения режима формования в печи визуальный осмотр изготовленных панелей показал, что они имеют качественную гладкую глянцевую лицевую поверхность без просматриваемой текстуры ткани и монолитную беспористую структуру пластика. Дефектов в виде непропитанных или недоформованных участков обнаружено не было (рис. 3).

Изготовленные панели прошли испытания на определение упругих, прочностных и физико-химических характеристик пластика в целях их сравнения с уже применяемыми паспортизованными материалами на основе растворных связующих.

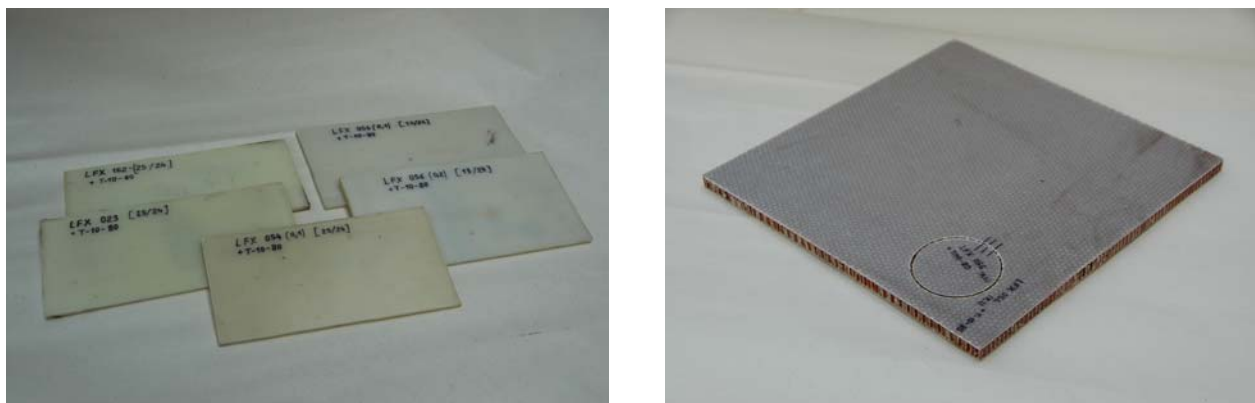


Рисунок 3 – Изготовленные панели образцов на пленочном связующем

В результате анализа проведенных исследований были определены типы ПС, которые более целесообразно применять при изготовлении конструкций, не несущих существенную силовую нагрузку (secondary structures), например в конструкциях интерьеров, а также для изготовления полимерной оснастки из КМ.

Выбор типов ПС для применения в силовых конструкциях самолета требует проведения дополнительных исследований.

Выводы

Проведенный анализ прочностных свойств монолитных стеклопластиков показывает, что прочностные характеристики полученных образцов имеют достаточно высокий уровень и достигают показателей паспортизованных материалов. Полученные характеристики модуля упругости вдоль волокон на образцах с ПС оказались ниже ориентировочно на 25...30%, что необходимо учитывать при проектировании конструкций, работающих на растяжение.

Одним из методов повышения модуля упругости является увеличение объемного содержания армирующего наполнителя в пластике за счет уменьшения количества связующего. Однако для доказательства этого необходимо проводить дополнительные исследования.

Анализ прочностных характеристик пластиков, изготовленных с применением пленочного связующего LFX 162 по разным режимам термообработки (варианты 6 и 7 в табл. 2) показывает, что для этого типа ПС оба рекомендуемых режима термообработки (при 80 и 120°C) обеспечивают одинаковые, достаточно высокие, прочностные характеристики.

Во всех вариантах панелей толщина монослоев несколько выше толщины монослоев пластиков с аналогичными наполнителями, изготовленных по препреговой технологии с применением термореактивных связующих.

Технологический процесс изготовления деталей с применением пленочных связующих очень простой, производителен и не требует специального оборудования и приспособлений. Кроме этого:

- применение пленочных связующих исключает использование растворных связующих, содержащих токсичные растворители, и необходимость пропитки наполнителей, что позволяет улучшить условия труда и безопасность производства;

- применение пленочных связующих позволяет обеспечить стабильное относительное содержание компонентов в пластике с достаточно высокой степенью наполнения, при этом сохраняется беспористая герметичная структура материала;

- применение пленочных связующих позволяет получать пластики с достаточно высокими прочностными характеристиками при оптимальном содержании компонентов;

- температурно-временной режим термообработки пленочных связующих является значительно менее энергоемким по сравнению с режимами переработки ПКМ по препреговой технологии, что позволяет получить существенный экономический эффект от их применения и сократить технологический цикл изготовления деталей.

Список использованных источников

1. Jose Manuel Luna Diaz Composites: 30 years of continued R&D as the driving force behind aero structures progress [Текст] / Jose Manuel Luna Diaz // SAMPE EUROPE 33th International Conference and Forum – Keynote 1, pp. 2-41.

2. Андреев, А.В. Технология получения элементов конструкций из полимерных композиционных материалов с применением плетеной арматуры [Текст] / А.В. Андреев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 1(69). – Х., 2012. – С. 36 – 39.

Поступила в редакцию 25.11.2013.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Бычков,
ГП «Антонов», г. Киев.*