
*В.И. Постнов, А.И. Сатдинов,
С.В. Стрельников, А.И. Антонов, Е.А. Вешкин*

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПКМ

Рассмотрен комплекс вопросов, связанных с технологической подготовкой производства изделий из ПКМ. Показано, что недостаточное внимание к подготовке производства приводит к снижению качества получаемых изделий.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, технологическая подготовка производства.

Успехи авиационной техники последних лет неразрывно связаны с использованием новых материалов, среди которых значительное место занимают полимерные композиционные материалы (ПКМ). Эти материалы, обладающие исключительным сочетанием конструкционных, технологических и специальных свойств, не только доказали свою эффективность по сравнению с другими конструкционными материалами, но и открыли уникальные возможности для разработки более совершенной техники нового поколения.

Использование ПКМ в авиационной технике позволяет достичь не только повышения показателя весового совершенства летательных аппаратов, но и улучшения летно-технических характеристик, повышения надежности и ресурса конструкций. Успех применения ПКМ в силовых конструкциях обусловлен значительным их преимуществом по удельной прочности и жесткости, исключительным сочетанием конструкционных, теплофизических, специальных свойств по сравнению с изделиями из традиционных материалов.

Эффективная реализация достоинств этих материалов в конструкциях требует решения комплекса задач, связанных не только с конструированием изделия, выбором материалов, но и с точным соблюдением технологических режимов при изготовлении.

Известны случаи, когда отдельные компоненты ПКМ (препреги, сотовые наполнители, пленочные клеи) имеют максимальные физико-механические характеристики, а в сочетании друг с другом в готовом агрегате дают соединение с низкими значениями прочностных характеристик. В большинстве случаев такое положение объясняется тем, что в процессе производства деталей не были соблюдены параметры технологического процесса.

В данной статье изложены результаты исследований влияния фактора подготовки производства при технологическом процессе: герметизация системы оснастка–вакуумный мешок.

При автоклавном формовании изделий из ПКМ необходимо создание вакуума под вакуумным мешком для постоянного удаления воздуха и выделяющихся летучих веществ из межслойного пространства выложенных слоев препрега и предварительного их уплотнения. Особенно необходимо вакуумирование на начальной стадии автоклавного формования при подъеме температуры до 80–100°C в период наиболее интенсивного выделения летучих веществ. При отсутствии эффективного вакуумирования качество и механические свойства материала в детали снижаются. Необходимо, чтобы вакуум поддерживался равномерным по всему объему пакета слоев препрега как для детали, так и для образца-свидетеля. При производстве ПКМ из-за негерметичности оснастки–вакуумного мешка наблюдаются темные пятна на стеклопластиках и красноватые – на углепластиках, образующиеся из-за окисления связующего вследствие постоянного поступления в зону формования рабочей среды автоклава.

Возможно создание «кажущегося вакуума» под негерметичным мешком путем постоянного отсоса воздуха вакуумными насосами большой мощности. Это не приводит к улучшению качества композиционных материалов, так как реальная величина вакуума не будет соответствовать показателю вакуума в месте установки датчика запи-

связующего прибора, и в местах негерметичности увеличивается степень окисления связующего. В этих деталях появляются пористость, расслоение, непроформовка, т. е. видимые и устраняемые дефекты, и, что еще хуже, снижение качества ПКМ, его механических характеристик, которое не обнаруживается на стадии контроля – так как образец-свидетель мог находиться в зоне достаточного разрежения, – а проявляется в процессе эксплуатации самолета. Достижение требуемой величины вакуума в системе оснастка–вакуумный мешок определяется состоянием оснастки, полимерной пленки вакуумного мешка и герметизирующего шва. Обычно для вакуумных мешков используется пленка ППНТ, технологические свойства которой зависят от внешних условий (температура, влажность), механических нагрузок. Пленка ППНТ, изготовленная на основе полиамида-6, обладает существенным разбросом прочностных (в пределах 40,0–82,5 и 33,3–95,7 МПа в продольном и поперечном направлении соответственно) и деформационных свойств (удлинение ϵ в пределах 80–440 и 100–460% в продольном и поперечном направлении соответственно) даже в пределах одного рулона (требования по ТУ: $\sigma_b \geq 40$ МПа и $\epsilon \geq 200\%$). Такая нестабильность свойств ППНТ часто приводит к нежелательным разрушениям ее в процессе формования деталей из ПКМ и возникновению в них дефектов, несовместимых с эксплуатационной надежностью. Известно, что относительное удлинение пленки ППНТ связано с наличием в ней влаги, оказывающей на нее пластифицирующее действие. Проведенные исследования в рамках данной работы показали, что в исходных образцах пленки ППНТ содержание влаги находится в пределах 1,8%, а после помещения данных образцов в воду происходит их увлажнение до полного насыщения: 8,56%.

Определено, что предельное насыщение пленки влагой обычно происходит за 5–6 ч, а после того как ее подвергают естественной сушке в условиях производственного помещения, происходит удаление влаги также за 5–6 ч до исходного уровня. Исследование свойств ППНТ в ходе данных экспериментов показало, что с повышением содержания влаги в пленке происходит снижение σ_b более чем в 2 раза, а ϵ при разрыве увеличивается в 5 раз (рис. 1). Уменьшение σ_b объясняется переходом увлажненного образца в эластичное состояние при малых нагрузках, в то время как разрушение «сухих» образцов требует больших усилий при малых деформациях в этой зоне. Однако, несмотря на прямую зависимость эластичности пленки от количества поглощенной влаги, применение пленки для вакуумных мешков возможно только при соблюдении определенных влажностных условий хранения пленки.

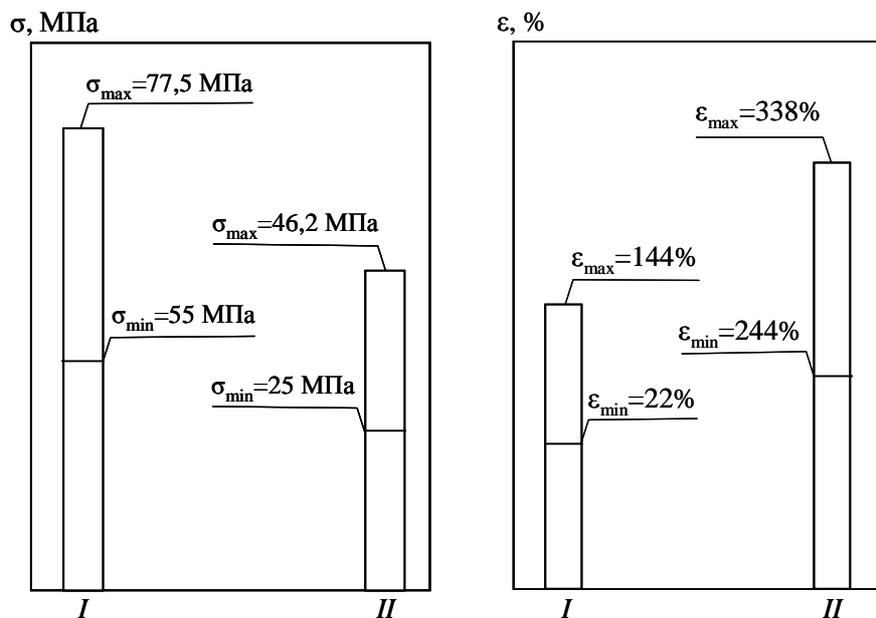


Рис. 1. Диаграммы изменений свойств пленки ППНТ при ее увлажнении: I – в исходном состоянии ($\sigma_{cp} = 64,4$ МПа; $\epsilon_{cp} = 67,5\%$); II – после увлажнения ($\sigma_{cp} = 34$ МПа; $\epsilon_{cp} = 333\%$)

Установлено, что оптимальной влажностью воздуха для хранения и применения пленки является $\varphi_{отн}=50-70\%$, так как использование более увлажненной пленки может привести к ее растрескиванию с повышением температуры и давления и разрушению в зонах перехода толщин формируемой детали из ПКМ, резкому спаду вакуумного давления и, как следствие, дефектам в виде расслоений.

Также установлено, что решающую роль играет герметизирующий жгут, используемый для сборки системы оснастка–вакуумная мембрана. Для исследования технологических свойств использовали жгуты АТ-200У (США), 51Г-27, Абрис А, применяемые в серийном производстве при формировании изделий из ПКМ. Установлено, что на герметичность зон соединений мембрана–оснастка большое влияние оказывает шероховатость соединенных поверхностей и степень их обезжиривания. Для устранения этих дефектов возможно применение дополнительной герметизации с помощью жидкого клея (88НП), который является «гидрозатвором» в зонах нарушения герметичного соединения элементов системы оснастка–мембрана. Однако данный способ является затратным по материалам и трудоемкости и может быть использован в особых случаях. Исследования, проведенные с помощью прибора ИПФ-2002, показали, что жгуты АТ-200У и 51Г-27 обладают хорошими пластическими свойствами, обеспечивающими требования процесса автоклавного формования, а жгут Абрис А имеет высокую степень текучести, низкие адгезионные свойства при высоких температурах, что приводит к нарушению герметичности из-за срыва вакуумной мембраны воздушными потоками в автоклаве.

На представленной технологической схеме (рис. 2) показан процесс формования деталей из ПКМ.

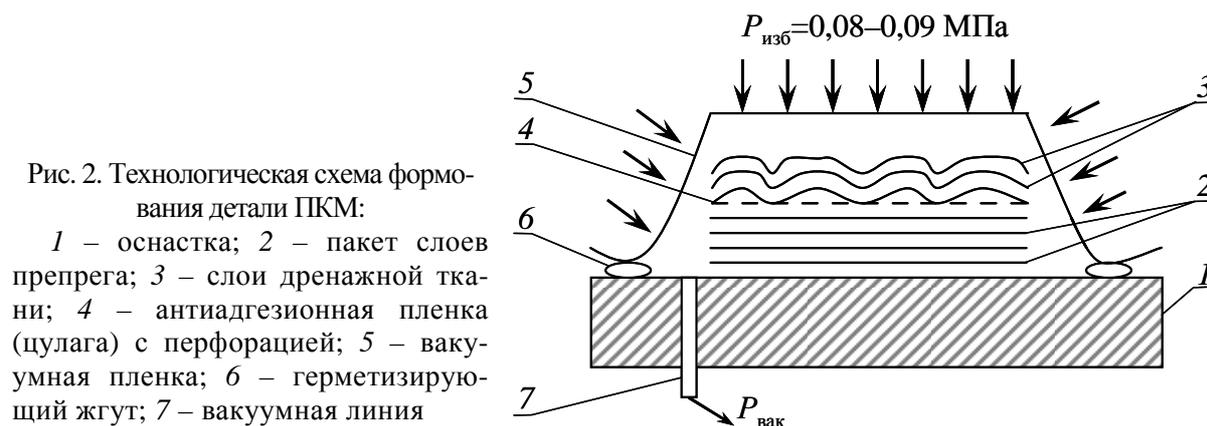


Рис. 2. Технологическая схема формования детали ПКМ:

1 – оснастка; 2 – пакет слоев препрега; 3 – слои дренажной ткани; 4 – антиадгезионная пленка (цулага) с перфорацией; 5 – вакуумная пленка; 6 – герметизирующий жгут; 7 – вакуумная линия

Избыточное давление $P_{изб}$, воздействующее на деталь через пленку вакуумного мешка, зависит от остаточного давления $P_{вак}$ в вакуумной линии и потерь $\Delta_{пот}$ за счет негерметичности всей системы. Обычно потери в вакуумном насосе и линии незначительны, поэтому $P_{вак} \geq 0,095$ МПа, а допустимые значения $P_{изб}$ должны быть не менее 0,08–0,095 МПа, т. е.

$$P_{изб} = P_{вак} - \Delta_{пот} \geq 0,08 - 0,095 \text{ МПа};$$

$$\Delta_{пот} = \Delta_{плен} + \Delta_{оснастки} + \Delta_{зона \text{ стыков}},$$

где $\Delta_{плен}$ – потери давления из-за микротрещин, разрушения от температурного и манометрического режима, дефектов от производства пленки (посторонние включения) и др.; $\Delta_{оснастки}$ – потери давления из-за негерметичности поверхности оснастки, дефектов на поверхности (риски, забоины, торцевые расслоения для КМ); $\Delta_{зона \text{ стыков}}$ – потери давления из-за плохой липкости и пластичности герметизирующей ленты «Герлен», плохого контакта ленты с поверхностью пленки ППНТ и оснастки, связанного с плохим обезжириванием, а также из-за просчета в оформлении компенсационных зон, учитывающих профиль и габариты формируемой детали из ПКМ.

Таким образом, были выявлены основные причины, препятствующие обеспечению требуемой величины вакуума в системе оснастка–вакуумный мешок, и найдены пути их устранения, хотя создание гидрозатвора жидким клеем в зоне соединения вакуумного мешка с оснасткой ведет к повышению трудоемкости. Однако это повышение трудоемкости незначительно в сравнении со снижением трудоемкости при поиске мест негерметичности в системе оснастка–вакуумный мешок.

*В.Т. Минаков, В.И. Постнов, Н.И. Швец,
О.Б. Застрогина, В.И. Петухов, К.В. Макрушин*

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ СОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ С ПОЛИМЕРНЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ГОРЯЧЕГО ОТВЕРЖДЕНИЯ

Рассмотрены особенности технологии изготовления трехслойных сотовых панелей с полимерным наполнителем-сферопластом горячего отверждения ВПЗ-15. Показано преимущество применения наполнителей горячего отверждения в производстве панелей интерьера самолетов.

Ключевые слова: *трехслойные сотовые панели, наполнитель-сферопласт.*

При изготовлении трехслойных сотовых панелей интерьера используется несколько видов компонентов: препреги на основе тканых наполнителей и полимерного связующего, из которых изготавливаются обшивки (которые могут служить также носителем клеевой композиции), сотовые наполнители различных видов, предназначенные для придания панели высокой жесткости при минимальной массе, а также высокопрочный полимерный наполнитель-сферопласт (ВПЗ), предназначенный для заполнения ячеек сот по периметру панели и зон в местах установки элементов крепления с целью предотвращения повреждения в местах приложения сосредоточенных нагрузок (рис. 1).

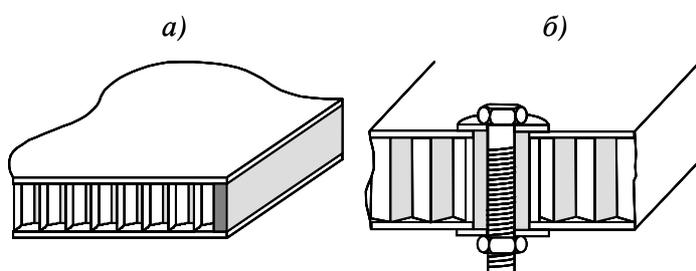


Рис. 1. Заполнение полимерным наполнителем-сферопластом торца трехслойной панели (а) и зоны под установку крепежа (б)

Полимерный наполнитель – композиция, состоящая из дисперсных неорганических или органических веществ (наполнителей), равномерно распределенных в непрерывной фазе полимерной матрицы с образованием гетерофазной системы. Отличительной особенностью таких систем является образование границы раздела фаз наполнитель–полимер, которая также оказывает влияние на свойства полимерного наполнителя. Наполнители позволяют в широких пределах регулировать технологические (вязкость, липкость) и физико-механические свойства (плотность, прочность, модуль упругости, теплоизоляция) полимерных наполнителей. В качестве матрицы полимерного наполнителя используются эпоксидные или фенольные связующие. Наиболее часто наполнителями служат полые стеклянные микросферы, применение которых обусловлено их невысокой стоимостью и низкой плотностью, что дает возможность значительно снизить плотность готового полимерного наполнителя. Полимерные наполнители, применяющиеся в авиационных интерьерных панелях, должны быть легкими с плотностью в пределах 500–800 кг/м³ и иметь достаточную прочность,