

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОНСТРУКЦИЙ
ИЗ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**© 2018 А.В. Постнов¹, М.В. Постнова², В.И. Постнов²¹ Ульяновский филиал конструкторского бюро ПАО «Туполев»² Ульяновский научно-технологический центр ВИАМ

Статья поступила в редакцию 01.11.2018

Металлополимерные композиционные материалы (МПКМ) представляют собой промежуточное звено между традиционными металлическими сплавами и полимерными материалами, при этом они сочетают положительные качества обеих этих групп. Производство авиационных конструкций из этих материалов можно осуществлять способами характерными для металлических и полимерных материалов с учетом специфики МПКМ. В статье рассмотрены основные способы получения конструкций из данных материалов.

Ключевые слова: металлополимерные композиционные материалы, СИАЛ, GLARE, долговечность, молнеестойкость, формование, VARTM, пропитка под вакуумом.

Анализ стратегий развития российских интегрированных структур показывает, что дальнейшее развитие авиастроения в России так же невозможно без использования новых материалов с кардинально улучшенными служебными характеристиками и технологий переработки [1].

В связи с этим исследователи все чаще обращают свое внимание на «гибридные» материалы, состоящие из различных разнородных сплавов и полимеров [2, 3, 4]. Сочетание разнородных материалов позволяет не только объединить полезные свойства отдельных составляющих, но и получить совершенно новое качество, которым исходные материалы не обладают. Металлополимерный композиционный материал (МПКМ) СИАЛ (зарубежный аналог GLARE) сочетающий слои алюминия и стеклопластика, обладает высокой прочностью, пожаростойкостью, а главное его характеристики СРТУ в 3-5 раз ниже, чем в листах высокоресурсных алюминиевых сплавов. Уникальная комбинация характеристик СИАЛа делает это материал перспективными для строительства самолетов нового поколения и ремонта эксплуатирующейся техники. Отличительной особенностью данного материала является возможность получения требуемой анизотропии свойств, что обеспечивается выбором количества слоев, а также регламентированной укладкой стекловолокна по различным направлениям.

Компания «Airbus» широко использует материал GLARE в гражданском и транспортном самолете А-380 (экономия массы составила 500 кг)

Постнов Алексей Викторович, ведущий инженер-конструктор УФКБ ПАО «Туполев». E-mail: ufkbtu@mv.ru

Постнова Мария Вячеславовна, кандидат технических наук, с.н.с. УНТЦ ВИАМ. E-mail: untcviam@viam.ru

Постнов Вячеслав Иванович, доктор технических наук, начальник УНТЦ ВИАМ. E-mail: untcviam@viam.ru

для обшивок фюзеляжа, хвостового оперения, соединительных лент [3, 4, 5]. СИАЛ на базе листов 1441 используется для молниезащитных элементов обшивки крыла самолета Бе-103. Он обеспечивает повышенный ресурс и весовую эффективность перспективных российских конструкций авиационной техники и рекомендован в качестве обшивок, противопожарных перегородок, соединительных лент, поясов безопасности (стопперов). СИАЛ внесен в перечень материалов для среднемагистральных самолетов МС-21 и Ту 204-СМ, но этому предшествовал длительный период времени, посвященный разработке структуры материала, технологии его получения и переработки [6]. Это связано с тем, что авиакомпании в отношении новых материалов весьма консервативны и фактически тяжело соглашаются применять их в своём самолёте.

В последнее время начали разрабатываться гибридные материалы на основе высокопрочного сплава В-1469 и ресурсного сплава 1441, данное сочетание сплавов совместно со стеклопластиком позволяет дополнительно повысить весовую эффективность, прочность, несущую способность и жёсткость авиационной конструкции [7, 8]. Слоистый гибридный материал для обшивки крыла может включать в себя: монолитные листы увеличенной толщины из алюминий-литиевых сплавов, СИАЛа и прослойки стеклопластика (рис.1) [9].

Проведённые ВИАМом и Дельфтским университетом исследования материалов СИАЛ И GLARE показали, что надёжность и ресурс авиационной конструкции зависят от свойства материала и её способности не разрушаться, сохраняя несущую способность при повреждениях. Такую способность конструкции можно разбить на два определяющих фактора, а именно обе-

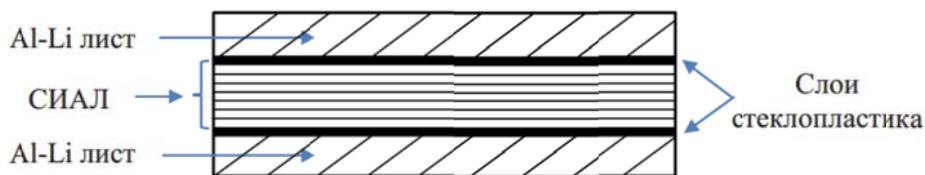


Рис. 1. Схема слоистого гибридного материала

спечение надёжности за счёт свойств материала, и за счёт структурной особенности самой конструкции (рис. 2) [10, 11].

Возможность варьировать структурой листов МПКМ позволяет достаточно эффективно управлять повреждаемостью конструкций панелей самолёта на уровне материала, то есть предотвращать развитие и противостоять появлению новых усталостных повреждений: трещин, вмятин, и т.д. Главным критерием для МПКМ является «не разрушаемость конструкции при усталостном нагружении, пока повреждение не станет обнаруженным» [5]. Этот критерий приводит к почти постоянному уровню распространения усталостной трещины, что и облегчает управление развитием повреждений. Управление повреждаемостью авиационной конструкции из МПКМ на уровне материала, позволяет соз-

давать конструкции меньшего веса, не снижая при этом её надёжность.

Помимо рассмотренных преимуществ данный материал показал хорошую стойкость к ударам молнии, за счёт хорошей электрической пропускаемости слоёв алюминия, в материале не происходит расслоения, а слои полимера предотвращают сквозное прожигание в листе (рис. 3).

В проведенной работе [12] по созданию конструкций панелей топливных баков был использован материал типа СИАЛ на основе алюминиевого сплава 1441 для самолета амфибии Бе-103. При этом была решена задача создания легких молниестойких панелей. В результате испытаний панели из МПКМ (рис. 4) наблюдалось проплавление только первого металлического слоя, при этом температура горячих точек не превышала 100 °С.

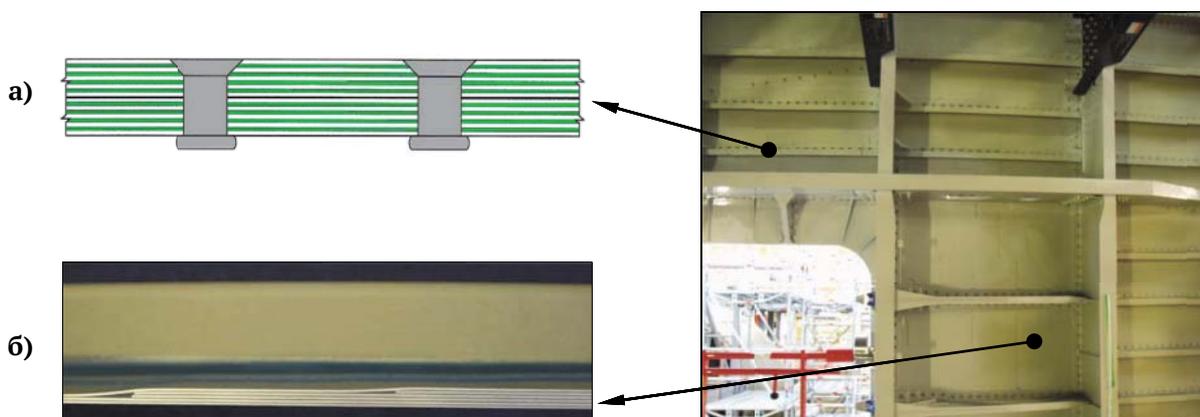


Рис. 2. Обеспечение надёжности конструкции: а) свойствами материала; б) структурной особенностью

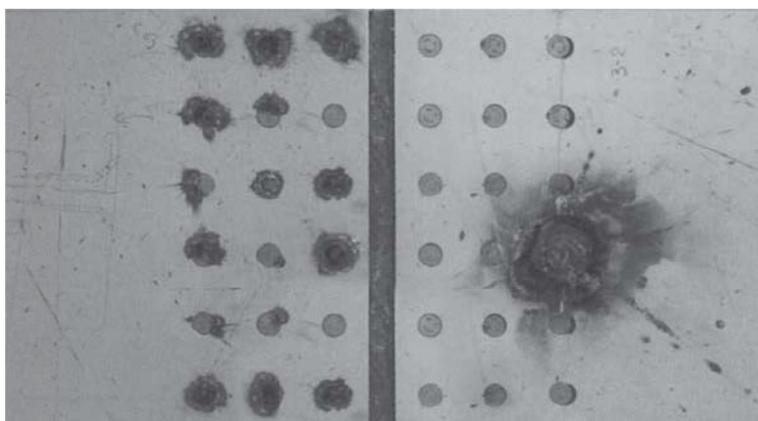


Рис. 3. Повреждение от удара молнией на панели GLARE

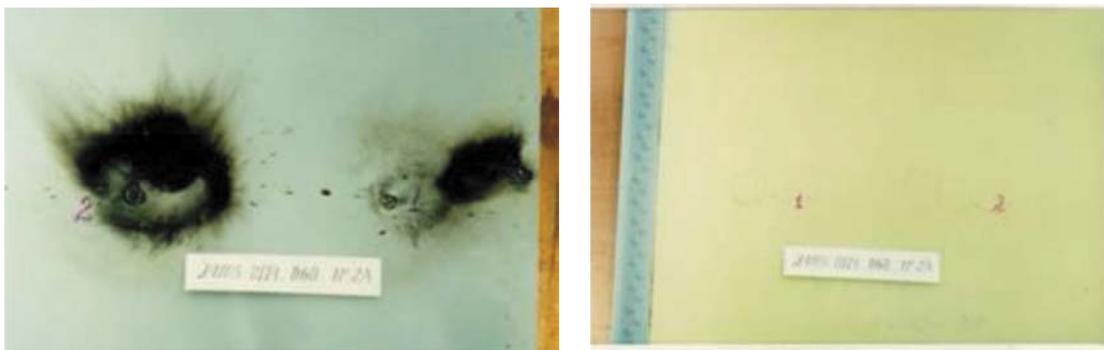


Рис. 4. Панель после испытаний на молниестойкость (наружная сторона слева, внутренняя сторона – справа)

Долговечность, очень часто, это один из определяющих факторов. Как всегда и происходит с новыми материалами, так и в случае с металлополимерами, вопрос по увеличению ресурса за счёт применения нового материала оставался спорным до начала практического применения. Одной из проблем, применения МПКМ стала максимальная рабочая температура материала, так как пока самолёт на земле, поверхность обшивки может сильно нагреться. Стоит также отметить, что характеристики материала превосходящие по многим параметрам характеристики алюминия были под сомнением, разработчики опасались снижения прочности нового материала относительно теоретических расчётов, ведь тогда ожидаемого снижения веса конструкции не произойдёт и применение данного материала станет невозможно. Потребовалось много времени, прежде чем все результаты исследований были получены, и материал стало возможным установить на самолёт.

Авиационные компании увидели, что СИАЛ (GLARE) фактически решал эксплуатационные и проблемы обслуживания, так как он

обладает большей усталостной стойкостью и менее уязвим при воздействии коррозии, чем алюминиевый сплав. Ими было принято решение о внедрении данного материала в авиационные агрегаты. Примером данного решения является панель (рис. 5) конструктивно представленная совместно с набором подкрепляющих элементов.

Примером возможности получения равнопрочной конструкции крыльевой панели из МПКМ СИАЛ является гибридная панель крыла самолета Ту-204 [9, 13] представленная на рис. 6.

Для серийного изготовления крупногабаритных листов МПКМ используют автоклавное формование. В этом случае панели из СИАЛа (GLARE) изготавливаются с помощью послойной ручной или автоматизированной выкладки алюминиевых листов и слоёв препрега на больших выклечных оснастках, таким образом, получают панели габаритами до 12×3,0 м. Плавность поверхности достигается технологией самоформования листов [14, 15]. Для преодоления металлургических проблем изготовления крупногабаритных (20,0×3,0 м) тонких листов

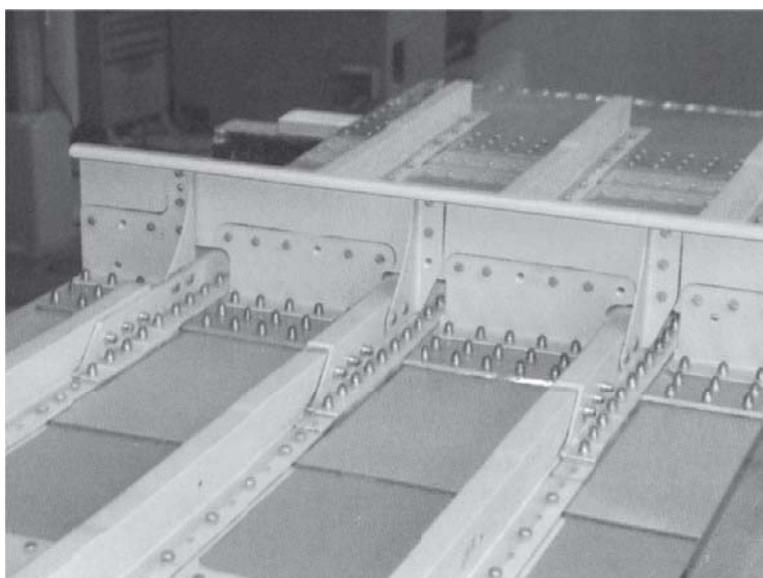


Рис. 5. Собранный панель из GLARE [6]

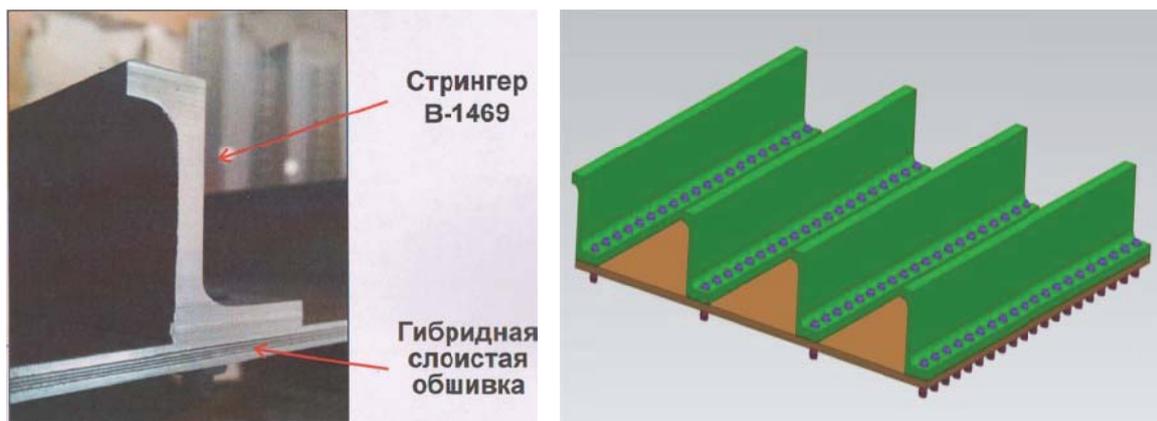


Рис. 6. Конструктивно-подобный образец из фрагмента слоистой гибридной панели крыла

алюминиевых сплавов, разработана технология сращивания, когда изготовление листа МПКМ происходит из листов небольших габаритов, в этом случае габариты ограничиваются только размерами автоклава, в котором склеиваются пакеты слоёв МПКМ [16]. Формообразование деталей одинарной и двойной кривизны – аэродинамических поверхностей агрегатов крыла, оперения, фюзеляжа и мотогондолы производится формованием в автоклаве. Поэтому при проектировании производят членение агрегатов с обшивочными панелями, обеспечивающие необходимые расчётные деформации, допустимые при таком формообразовании. По такой технологии изготовлены панели фюзеляжа самолёта А-380, так же эта технология была опробована в ФГУП ВИАМ [17].

Использование тонких алюминиевых слоёв больших габаритов в составе МПКМ требует особых условий и подходов. Это связано с тем, что на стадии подготовки алюминиевых слое (транспортировка, обезжиривание, анодирование) возникают дефекты в виде местных «заломов», царапин, загибов, которые не устраняются в процессе формования листов в автоклаве и могут повлиять на механические характеристики панелей из СИАЛа. В целях исключения «заломов» на листах алюминия возникающих при их транспортировке используют скатывание отдельного листа в рулон. Для предотвращения возникновения дефектов на алюминиевых листах и искривления армирующих волокон при транспортировке собранного пакета в автоклав используют специальные прижимы и фиксаторы на оснастке.

Перед сборкой и склеиванием МПКМ листы алюминия подвергаются анодированию для получения хорошей адгезии со стеклопластиком. Собранный и готовый к формованию пакет СИАЛа помещают в вакуумный мешок и вакуумируют. Это необходимо для постоянного выведения летучих веществ из межслойного пространства выложенных слоёв препрега при предварительном их уплотнении. При отсутствии качественного ва-

куумирования механические свойства материала в изделии снижаются.

Методы изготовления крупногабаритных листов МПКМ включают ручную или автоматизированную выкладку слоёв препрега с последующей пропиткой армирующих волокон полимерным связующим.

Последовательность всего процесса изготовления деталей и агрегатов из МПКМ пооперационно представлена на рис. 7 [15].

Существенное обновление используемых в производстве технологий происходит приблизительно один раз в 10 лет, но внутри этого цикла идет непрерывная качественное развитие существующих технологий [3]. Рост применения композиционных материалов в различных изделиях и увеличение объемов их производства требуют значительного повышения автоматизации технологических процессов. Одним из способов повышения автоматизации процесса получения листов СИАЛа (GLARE) является применение метода VARTM – вакуумной пропитки. [14] Такой способ изготовления позволяет понизить затраты и получать крупногабаритные панели. Эпоксидное связующее пропитывает слои ткани через отверстия в слоях металла как показано на рис. 8, 9. Пропитка смолой осуществляется вдоль стеклоткани через отверстия в фольге.

Отработка технологии получения листов МПКМ с помощью вакуумной пропитки слоёв ткани, показало, что метод VARTM может обеспечить достойное качество МПКМ с ограниченной потерей усталостной стойкости, с достаточно равномерным распределением в них уровня напряжений, что обеспечивается небольшими глубинами отверстиями в общем пакете слоёв детали.

Проведенный анализ применения МПКМ в конструкциях авиационного назначения показал, что эти материалы наиболее удачно сочетают в себе способность сплавов к пластичности, при одновременном увеличении прочности и трещиностойкости за счет волокон КМ. Усталостная прочность самолетной конструкции

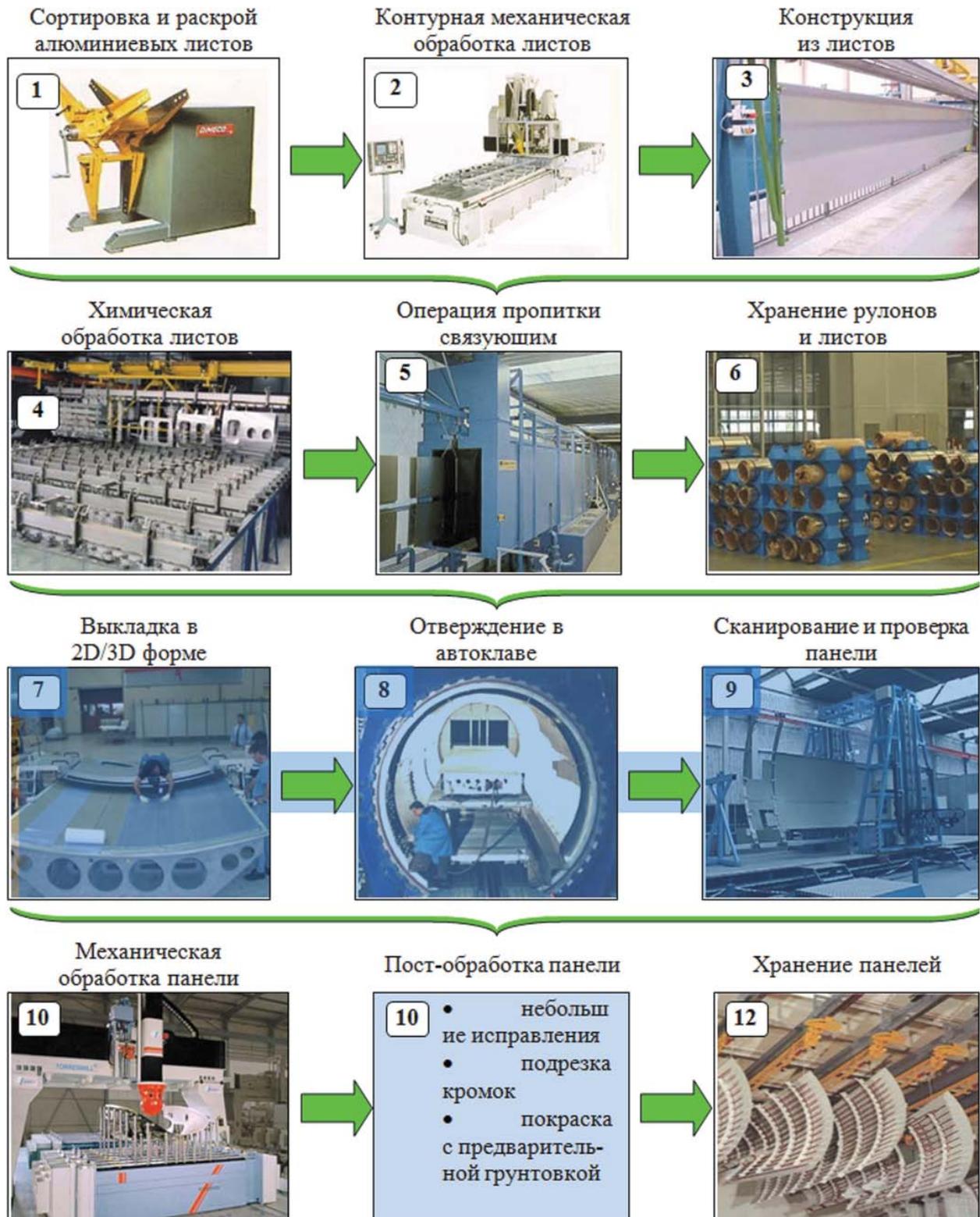


Рис. 7. Последовательность процесса производства панелей фюзеляжа из МПКМ

обеспечивается как структурной особенностью конструкции, так и непосредственно свойствами материала из которого она изготовлена. Особенностью обеспечения усталостной прочности на уровне материала, являются слои КМ, разгружающие слои металла, перераспределяя напряжения в материале. Это в свою очередь позволяет управлять процессом повреждаемости

в локальном масштабе. Надёжность на структурном уровне обеспечивается разработкой конструкции гибридной структуры, с необходимыми локальными изменениями послойной структуры материала. Как результат повышается весовая эффективность (за счет меньшей плотности, чем у алюминиевого сплава) и жесткость конструкций.

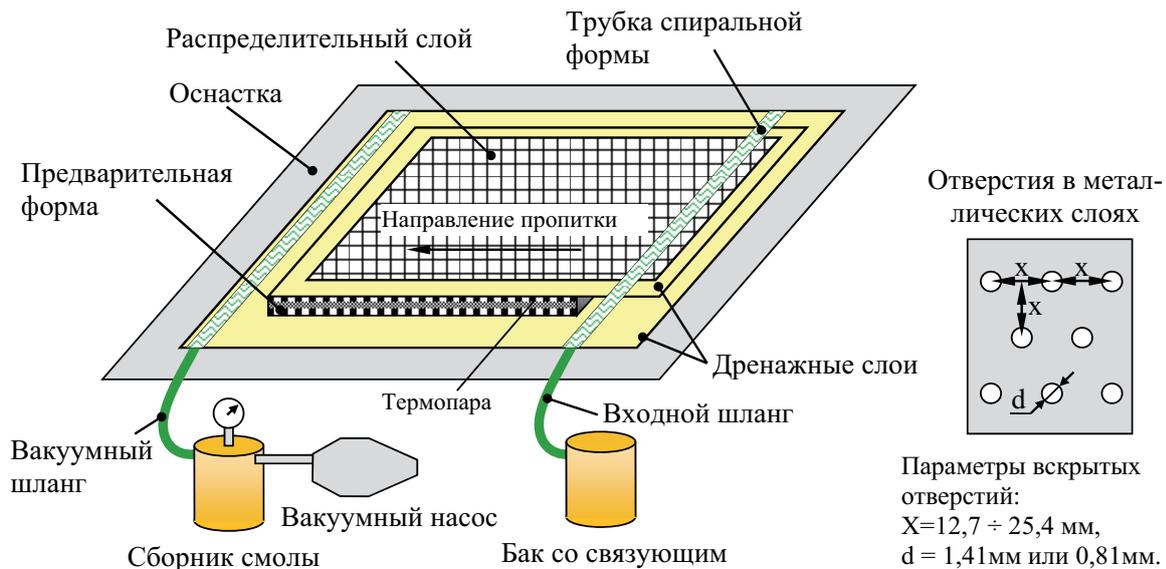


Рис. 8. Изготовление МПКМ с помощью метода VARTM

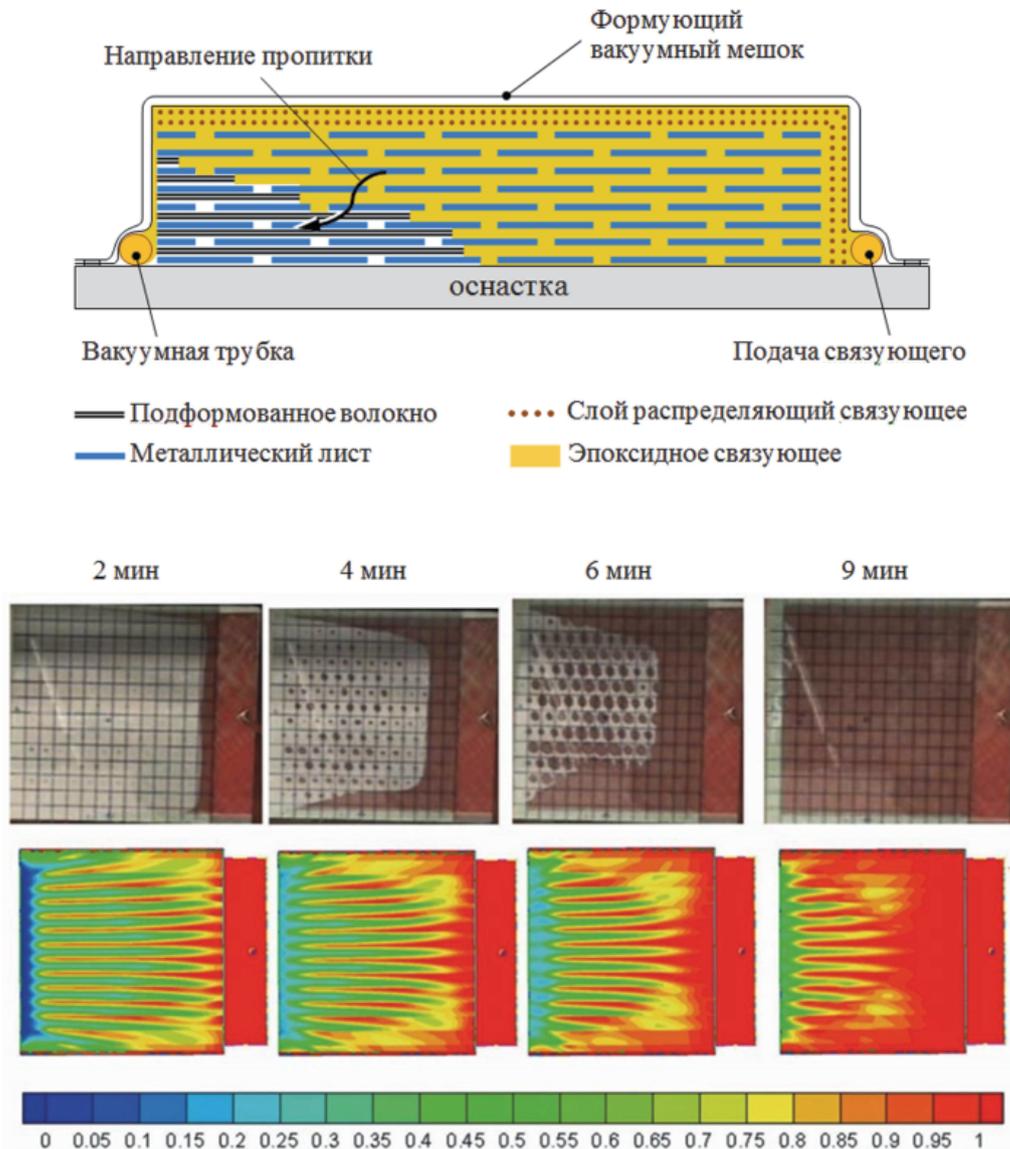


Рис. 9. Поэтапная демонстрация процесса пропитки армирующих слоёв в образце МПКМ с соответствующим теоретическим представлением

Проведенные исследования показали, что материалы GLARE (аналоги СИАЛа) эффективно использованы компанией Airbus для верхней обшивки фюзеляжа самолета А-380 и других элементов. Компания ТАНТК им. Бериева используют СИАЛ для молниезащитных элементов обшивки крыла и топливных баков самолета Бе-103. Для российских разработчиков авиационной техники МПКМ рекомендованы в качестве обшивок, перегородок, поясов безопасности, обеспечивающих повышенный ресурс и весовую эффективность перспективных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1(34). С. 3–33. DOI:10.18577/2017-9140-2015-0-1-3-33
2. Антипов В.В. Стратегия развития титановых, магниевых, бериллиевых и алюминиевых сплавов // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 157–167.
3. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 231–242.
4. Слоистые металлополимерные композиционные материалы / Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Лукина Н.Ф., Сидельников В.В., Шестов В.В. // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 226–230.
5. Каблов Е.Н., Антипов В.В., Сенаторова О.Г. Слоистые алюмокомпозиты СИАЛ-1441 и сотрудничество с Airbus и TU Delft // Цветные металлы. 2013. №9. С. 50–53.
6. Постнова М.В., Постнов В.И. Роль структур МПКМ и их влияние на виброустойчивость конструктивных элементов ГТД // Труды ВИАМ.: электрон. науч.-технич. журн., 2017. №1. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru>. (дата обращения 15.09.2018). DOI:10.18577/2307-6046-2017-0-1-7-7.
7. Новый класс алюмокомпозитов на основе алюминий-литиевого сплава 1441 с пониженной плотностью / Е.Н. Каблов, В.В. Антипов, О.Г. Сенаторова, Н.Ф. Лукина // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. 2011. №SP2. С. 174–183.
8. Высокопрочные легкие слоистые алюмокомпозиты класса СИАЛ – перспективный материал для авиационных конструкций / О.Г. Сенаторова, В.В. Антипов, Н.Ф. Лукина, В.В. Сидельников и др. // Технология легких сплавов. 2009. № 2. С. 28–31.
9. Гибридные слоистые материалы на базе алюминий-литиевых сплавов применительно к панелям крыла самолета / Н.Ю. Серебренникова, В.В. Антипов, О.Г. Сенаторова, В.С. Ерасов, В.В. Каширин // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 3. С. 3–8. DOI:10.18577/2071-9140-2016-0-3-3-8
10. Controlling the damage with fiber metal laminate structures. First International Conference on Damage Tolerance of Aircraft Structures / Th. Beumler, R. Starikov, A. Gennai and O. Senatorova // TU Delft, The Netherlands. 2007. P.914–925.
11. Ad Vlot. GLARE, history of the development of a new aircraft material // Delft University of Technology, Faculty of Aerospace Engineering, Delft, The Netherlands. 2001. P. 222.
12. Лавро Н.А. Пути повышения молниестойкости топливных баков самолетов – амфибий // Авиационно-космическая техника и технология. 2005. №7. С. 219–227.
13. Расчет на прочность гибридной панели крыла на базе листов и профилей из высокопрочного алюминий-литиевого сплава и слоистого алюмокомпозита / Е.Н. Орешко, В.С. Ерасов, Н.Ю. Подживотов, А.Н. Луценко // Авиационные материалы и технологии. 2016. №1. С.53–61. DOI:10.185.77/2071-9140-2016-0-1-53-61
14. James F. Stevenson. Metal Polymer Composite Hybrid Materials and Products, Honeywell Aerospace, Retired SAMPE NJ May 2011.
15. Fibre Metal Laminates an introduction /Ed. by A. Vlot, J.W. Grunnink /In: Kluwer Academic Publishers. 2001. P. 527.
16. Слоистые алюмополимерные материалы СИАЛ / И.Н. Фридляндер, О.Г. Сенаторова, Н.Ф. Лукина, В.В. Антипов, В.В. Сидельников, А.В. Гриневич, В.И. Постнов // Клеи. Герметики. Технологии. 2007. №5. С. 15–17.
17. Антипов В.В. Технологичный алюминий-литиевый сплав 1441 и слоистые гибридные материалы на его основе // Металлург. 2012. №5.С. 36–39.

NEW TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURES FROM METAL-POLYMERIC MATERIALS

© 2018 A.V. Postnov¹, M.V. Postnova², V.I. Postnov²

¹Ulyanovsk Branch Engineering Office of PJSC «Tupolev»

² Ulyanovsk Scientific-Technological Center VIAM

Metalpolymer composite materials (MPCM) represent an intermediate link between conventional metal alloys and polymer materials, thus they combine merits of both these groups. Manufacture of aviation designs from these materials can be executed ways characteristic for metal and polymer materials taking into account specificity MPCM. The article the basic ways of obtaining of designs from the given materials are considered.

Keywords: metalpolymer composite materials, SIAL, GLARE, durability, lightningfirmness, forming, VARTM, impregnation under vacuum.

Aleksey Postnov, Leading Design Engineer of Public Joint Stock Company «Tupolev». E-mail: ufkbtu@mv.ru

Maria Postnova, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Ulyanovsk Scientific-Technological Center VIAM. E-mail: untcviam@viam.ru

Vyacheslav Postnov, Doctor of Technical Sciences, Director of Ulyanovsk Scientific-Technological Center VIAM.

E-mail: untcviam@viam.ru