

doi: 10.32620/oikit.2019.86.04

УДК 629.7.002:66.06

С.А. Бычков, А.В. Гайдачук\*, А.В. Андреев, Wang Bo\*

## **Перспективы роста применения термопластичных композиционных материалов в мировом авиастроении**

*Государственное предприятие «АНТОНОВ» (Украина)  
\*Технологический университет г. Нинбо (КНР)*

Показано, что в комплексной проблеме перманентного повышения конкурентоспособности авиатехники особую роль играет увеличивающийся с каждым годом объем применения полимерных композиционных материалов в конструкциях воздушных судов транспортной категории. При этом важную роль играет не только рациональный выбор конструктивно-технологических решений их узлов и агрегатов, но и применение новых композиционных материалов, позволяющих снизить себестоимость и сроки изготовления авиаконструкций, что в значительной степени способствует реализации высоких летно-технологических и экономических характеристик воздушных судов, конкурентоспособных на мировом рынке продаж и услуг. Проведен обзор и анализ развития новых композиционных материалов и технологий переработки их в изделия, обсуждаемых на ежегодной международной выставке Sampe 2019 года. Из анализа результатов материалов выставки и конференций, прошедших в ее рамках, следует, что мировая авиационная промышленность все больше внимания уделяет исследованию конструкционных термопластов и освоению новых технологических процессов, связанных с этими материалами, в частности, сварке. В области авиастроения различными компаниями и институтами ведутся работы по оптимизации и удешевлению процессов производства деталей из полимерных композиционных материалов, в особенности в направлении безавтоклавных технологий производства. Приведены новые разработки ведущих авиастроительных компаний, в частности AIRBUS по созданию крупногабаритных ответственных высоконагруженных элементов конструкций самолетов из полимерных композиционных материалов с термопластичной матрицей. Особого внимания заслуживает технология 3D печати, которую авиастроительные компании успешно начали применять для изготовления деталей авиаконструкций. Отмечается, что эта технология позволяет не только уменьшить производственный цикл изготовления деталей, но и существенно снизить энергоемкость процессов, что положительно влияет на себестоимость изделий. В ходе посещения завода AIRBUS в Нанте отмечен высокий уровень автоматизации производственных процессов изготовления деталей из полимерных композиционных материалов с большим количеством выкладочных, намоточных машин, станков с ЧПУ, роботов, что обусловлено значительной программой производства самолетов A350XWB и A400M с высокой степенью автоматизации процессов производства, а также весьма высокий уровень техники безопасности и охраны труда.

**Ключевые слова:** полимерные композиционные материалы, термопластичная матрица, авиаконструкции, технология производства, технологическое оборудование.

В последнее десятилетие имеет место перманентный рост применения полимерных композиционных материалов (ПМК) в ряде отраслей машиностроения и в авиастроении во все мире [1-2]. Об этом свидетельствуют ежегодные выставки JEC WORLD и конференции, организуемые Обществом по продвижению технологий, материалов и производственных процессов SAMPE Europe [3].

Ниже проведен краткий обзор и анализ этих мероприятий, состоявшихся только в текущем 2019 году.

Так в научной публикации [1] дан анализ тенденций и перспектив применения ПКМ в европейском авиастроении.

Имеет место динамично развивающаяся тенденция применения изделий из термопластов. На выставке было представлено множество натуральных образцов, от элементарных конструкций до силовых панелей.

Демонстрируется активное применение технологического процесса сваривания армированных термопластов для получения комплексных конструкций с силовыми элементами – стрингерами и шпангоутами.

Из анализа конструктивных элементов, представленных на выставке, следует, что перспективным является продолжение опытно-конструкторских работ по созданию силовых агрегатов планера, с возможностью применения современных углеродных материалов с автоматизацией процессов раскроя и выкладки для повышения качества технологических операций с использованием модуля послойного моделирования деталей из ПКМ «FiberSim» компании Siemens.

Следует отметить устойчивое развитие аддитивных технологий или 3D печати, чему способствует появление новых материалов для этого процесса, которые позволяют изготавливать оснастку и детали высокого качества за короткие сроки.

В ходе осмотра украинской делегацией ГП «Антонов» демонстрационных образцов на выставке отмечено [1], что некоторые конструкции, имеющие в своем составе силовые элементы (стрингеры и шпангоуты) не изготавливаются интегрально с силовой обшивкой, а формируются отдельно с последующей сваркой/приклейкой или посредством механического крепежа. Таким образом имеет место рациональный подход к изготовлению конструкций с учетом технологичности и качества изготовления того или иного агрегата.

Конференция организована Обществом по продвижению технологий, материалов и процессов SAMPE Europe. Она проводится ежегодно в разных странах Европы. В этом году в конференции приняли участие около 320 делегатов из 26 стран мира [3].

В ходе конференции участники представляли свои доклады по различным направлениям: промышленные инновации, авиационные материалы и процессы, соединение и склеивание, биоматериалы и переработка композиционных материалов, термопластичные композиционные материалы, испытания, ремонт, автоматизация процессов производства и др., делась своим опытом и достижениями в области композиционных материалов.

Участие в конференции предусматривало посещение производственного предприятия. Участники делегации от ГП «АНТОНОВ» посетили завод Airbus, расположенный в г. Нант, на котором производят авиационные агрегаты, такие как центроплан, килевая балка, обтекатели, элероны, воздухозаборники и др.

Большое количество докладов было посвящено опыту применения термопластов в авиационных конструкциях, а также внедрению сварных соединений термопластичных деталей.

Сегодня порядка 1000 деталей для авиалайнера Airbus A380, которые весят больше 2,5 тонн, производится из композитов с термопластичной PPS матрицей. Этот высококачественный композитный материал используется в наружных частях самолета, например, в передних кромках крыла или в нервюрах и крепежных элементах, которые усиливают конструкцию фюзеляжа.

В отличие от композитов, изготовленных на основе термореактивной матрицы, термопластичные композиты (ТПК) не требуют ни сложных химических реакций, ни длительных процессов отверждения. Термопластичные препреги не требуют специальных условий хранения при пониженных температурах, подразумевая практически неограниченный срок хранения.

Большим стимулом для использования ТПК при разработке самолетов является возможность соединения компонентов посредством сварки. Сварка представляет собой привлекательную альтернативу традиционным методам – механическому креплению и клеевому соединению, используемым для соединения термореактивных композитных деталей.

Сварка термопластичных композитов дает возможность собирать конструкции без традиционных методов соединения, таких как крепеж. Без крепежных элементов и их неизбежных концентраторов напряжений можно получить более легкие конструкции.

Развитие различных методов сварки (ультразвуковая, контактная, индукционная и др.) продолжается. Сторонники сварки видят необходимую надежность в программном обеспечении для прогнозирования и моделирования процессов, повышают встроенный контроль параметров процесса сварки и распространяют процессы сварки на производство основных конструкций самолетов.

Термопласты начали применять при изготовлении первичных авиационных конструкций [4-6]. В 2009 г. девять голландских компаний и исследовательских институтов совместно с Airbus (г. Тулуза, Франция) сформировали консорциум под названием TAPAS (Termoplastic Affordable Primary Aircraft Structure) – Термопластичная Допустимая Первичная Авиационная Конструкция. В 2014 г. инициатива расширилась до 12 партнеров и стала называться TAPAS2.

В рамках этого сотрудничества фирма GKN Fokker (Нидерланды) разработала демонстрационную панель фюзеляжа двойной кривизны самолета Gulfstream business jet на основе однонаправленного углеродного волокна и термопластичного связующего полиэфирэфиркетон – РЕЕК (рис. 1).

Обшивка и L-образные стрингеры были изготовлены совместно. Поперечные шпангоуты изготавливались предварительно с последующей сваркой с обшивкой и стрингерами. Отсутствие механического крепежа, по оценкам GKN Fokker, позволит снизить себестоимость панели на 20%.

Еще одна область применения термопластов – лонжерон пилон авиационного двигателя. Пилон двигателя самолета в процессе работы сильно нагревается, по этой причине пилоны обычно выполняются из титана. Большинство деталей пилон, такие как лонжероны и ребра изготавливаются путемковки или фрезерования. При замене титана на композит будет возможно сокращение себестоимости производства деталей.

Как часть инновационной программы TAPAS2 фирма NLR исследовала возможность производства крупногабаритной и толстостенной термопластичной композитной детали, используя термопластичный материал на основе РЕЕК фирмы TenCate марки TC1320AS4D РЕЕК. Был предварительно спроектирован верхний лонжерон пилон, используя метод конечных элементов. Также были проведены механические испытания материала при повышенных температурах и изготовлен первый прототип путем

автоматической укладки волокна на пуансон с последующей формовкой в автоклаве (рис. 2).

Основываясь на проведенных исследованиях, были сделаны выводы, подтверждающие возможность изготовления толстостенных компонентов из термопластичных материалов с использованием процесса автоматической выкладки, что уменьшает вес и себестоимость изделия. Выбранный материал пригоден для использования при высоких температурах. Данный инновационный процесс – отличный потенциал для изготовления U-образных деталей в авиационной области. Отработанная методика также способна заменить широкий спектр изготовления деталей, таких как лонжероны крыла, стабилизатора и балки пола.

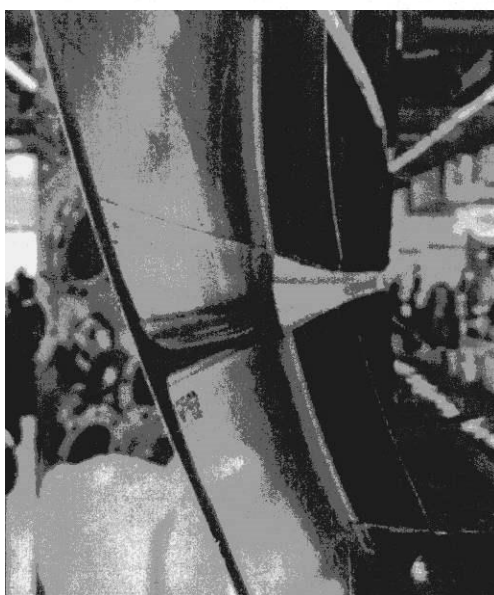
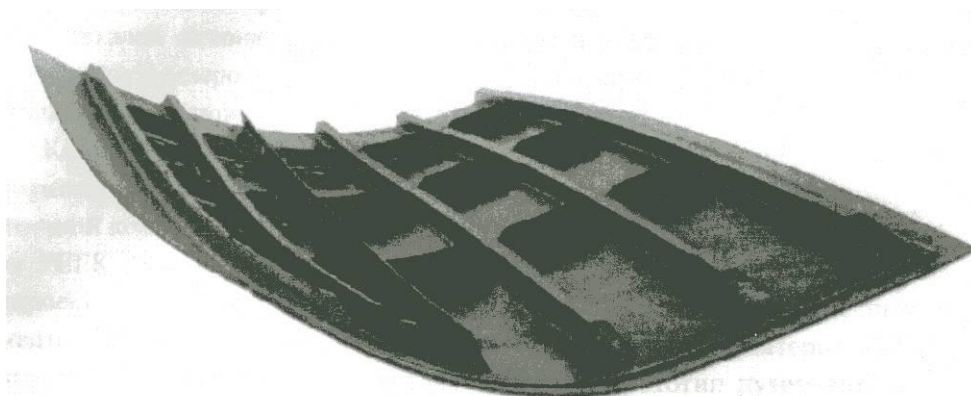


Рис. 1. Панель фюзеляжа на основе термопластов

Данная панель изготовлена без использования крепежных элементов.

Также на конференции была представлена работа по применению индукционной сварки термопластичных композитов с деталями, изготовленными методом 3D печати.

Три компании в рамках программы Technology Park Ypenburg в Гааге, Нидерланды (KVE Composites Group, Promolding и Airbone) объединили свои

усилия для создания инновационного демонстратора из термопластичного композита. Результатом является передняя часть крыла самолета, обшивка которого изготовлена с использованием термопласта, армированного углеродным волокном, к которой приварены три различных типа ребер: ребро, изготовленное 3D-печатью, ребро, изготовленное литьем под давлением и ребро, отформованное под давлением. Три ребра приварены к обшивке с помощью индукционной сварки.

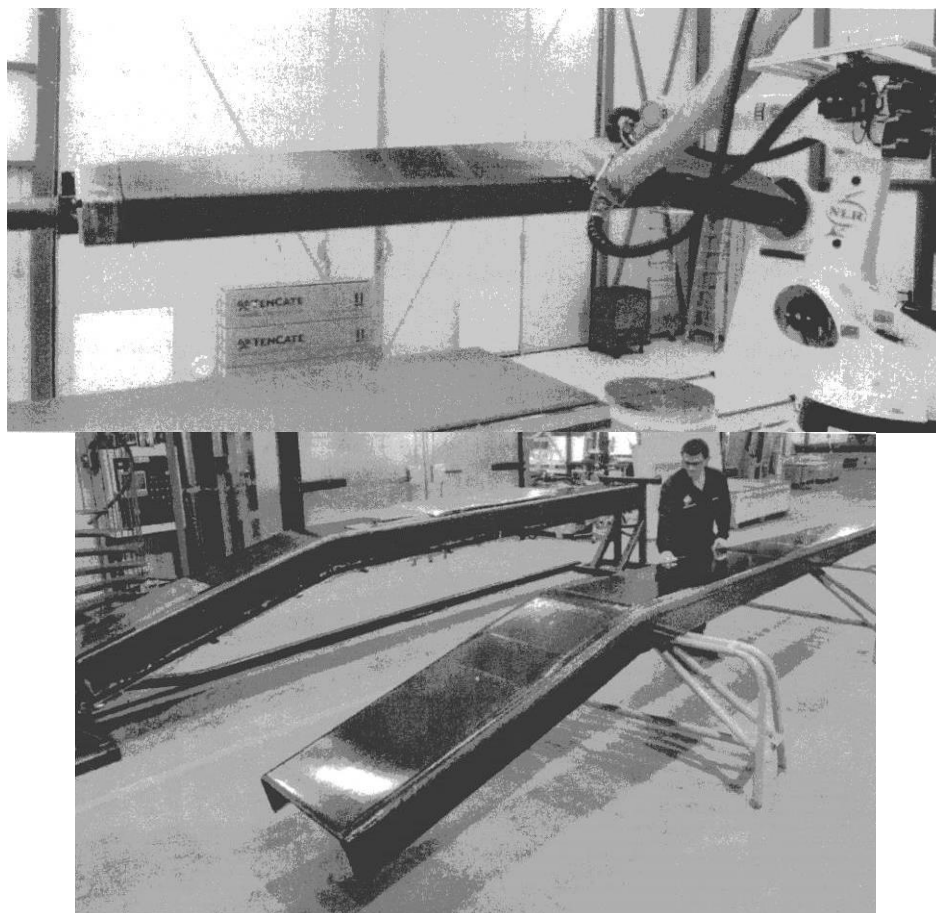


Рис. 2. Верхний лонжерон пилон двигателя из термопластичного композита

Напечатанное 3D ребро изготовлено с использованием непрерывного углеволокна для увеличения жесткости.

Изготовленное методом литья под давлением ребро усилено коротким рубленым углеволокном. Для ребра, отформованного под давлением тот же короткий рубленый углеродный материал накладывается поверх ламината на основе однонаправленного углеволокна. Оба формованных ребра изготавливаются с использованием 3D-печатных форм, так называемой технологии Printed Injection Mold (PRIM®), очень хорошо подходящей для быстрого прототипирования или для небольших серий.

На сегодняшний день достаточно развиты три технологии сварки, применяемые в промышленности: индукционная сварка, ультразвуковая сварка и сварка сопротивлением. Сварка сопротивлением, хотя и относительно быстрая, испытывает утечку тока, когда токоприемник вступает в контакт с электропроводящим материалом, таким как углеродное волокно. Поэтому

сварка сопротивлением не очень хорошо подходит для сварки термопластов на основе углеволокна. Ультразвуковая сварка требует очень хорошего контакта между двумя соединяемыми частями и, в основном, подходит для точечной сварки. Индукционная сварка может использоваться для непрерывных сварных швов и сложной геометрии, и в настоящее время является единственной квалифицированной технологией сварки для армированных углепластиковых термопластов в аэрокосмической промышленности.

Индукционная сварка – это технология, в которой электропроводящий материал нагревается переменным магнитным полем, индуцированным катушкой.

В качестве материала для демонстрации этой технологии был выбран полиамид. Полиамид не входит в сферу применения большинства аэрокосмических компаний, но имеет аналогичное поведение и характеристики, за исключением его более низкой температуры плавления, по сравнению с поликристаллическими конструкционными пластиками высокого класса, такими как PPS, PEKK и PEEK. Эта более низкая температура плавления обеспечивает более экономичное прототипирование. Когда процесс создания прототипа завершен, его можно легко расширить, включив в него высококачественные технические пластмассы, используя высокотемпературный инструментальный материал и увеличивая мощность сварки.

20-слойная обшивка габаритами 1200 x 120 мм и высотой 170 мм на основе однонаправленной углеленты, пропитанной полиамидом, укладывалась на форму и формировалась предварительно (рис. 3).

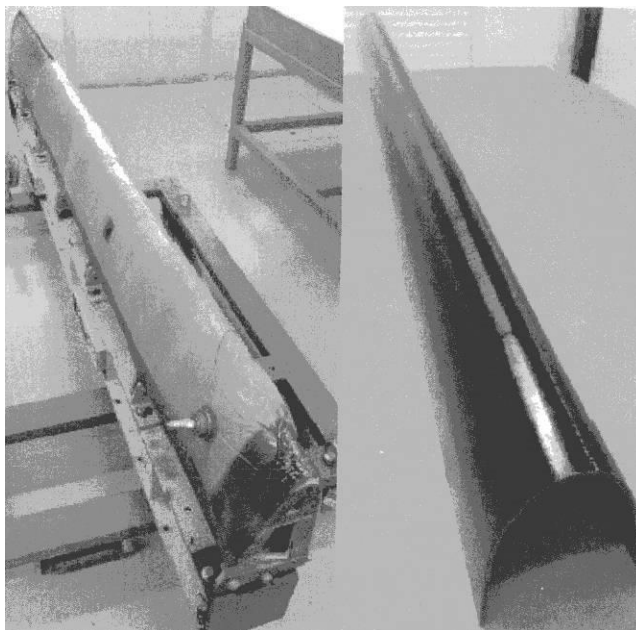


Рис. 3. Обшивка передней части крыла из термопластичного композита

Инструменты для сварки необходимы для обеспечения давления во время сварки, управления теплом, правильного выравнивания деталей и повторяемости. Давление во время сварки обеспечивается надувной трубкой. Инструмент обеспечивает точное позиционирование деталей относительно друг друга и катушки, а также обеспечивает повторяемость процесса. Наконец, перегрев деталей регулируется с помощью радиатора. Этот процесс

запатентован KVE Composites. Изложенная выше концепция модифицирована для соответствия процессу сварки передней кромки крыла с ребрами, в результате чего был разработан специальный инструмент для сварки, показанный на рис. 4. Этот инструмент действительно отвечает указанным требованиям, но оказался более неудобным в настройке, чем ожидалось, требуя нескольких операций при загрузке или выгрузке ребра.

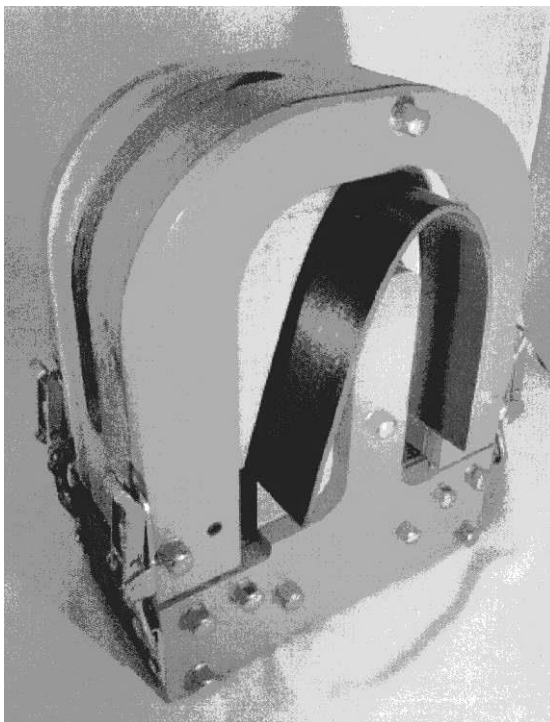


Рис.4. Инструмент для сварки

Ребро, изготовленное методом 3D печати, показано на рис. 5.



Рис. 5. Ребро, изготовленное 3D печатью

Ребра, изготовленные литьем под давлением и формованием под давлением показаны на рис. 6.

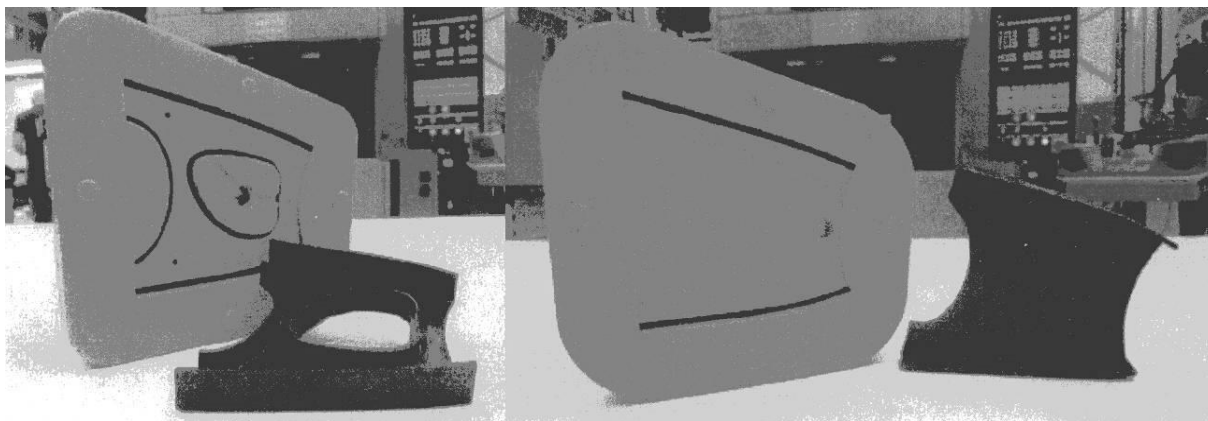


Рис. 6. Ребра, изготовленные литьем под давлением (слева) и формованием под давлением (справа)

Индукционная катушка позиционируется с помощью 6-осевого роботизированного манипулятора, чтобы обеспечить согласованное положение и позволить катушке следовать профилю передней кромки. Программа сварки составляется для каждого профиля сварки как для ребер с 3D-печатью, так и для отлитых в форму ребер, в результате чего получается всего четыре программы сварки.

В рамках конференции было предусмотрено посещение завода Airbus, который специализируется на производстве центропланов, килевой балки, обтекателей, элеронов, воздухозаборников и других агрегатов из ПКМ (рис. 7).



Рис. 7. Агрегаты, изготавливаемые на заводе Airbus в Нанте

Площадь территории завода – 88 га, площадь сооружений – 295 000 кв. м, количество работников – 2700 чел.

В ходе экскурсии было запланировано посещение участка изготовления воздухозаборников.



Конструкция воздухозаборника состоит из 4-х подборок:

- передняя кромка – изготавливается из алюминия, усиленного титаном. Нагрев препятствует формированию льда;
- шумопоглощающие панели – главный компонент воздухозаборника.

Конструкция данной панели сотовая с обшивками на основе углепластика (рис. 8), в отличие от применяемой на нашем предприятии, где данные панели имеют трубчатую конструкцию.

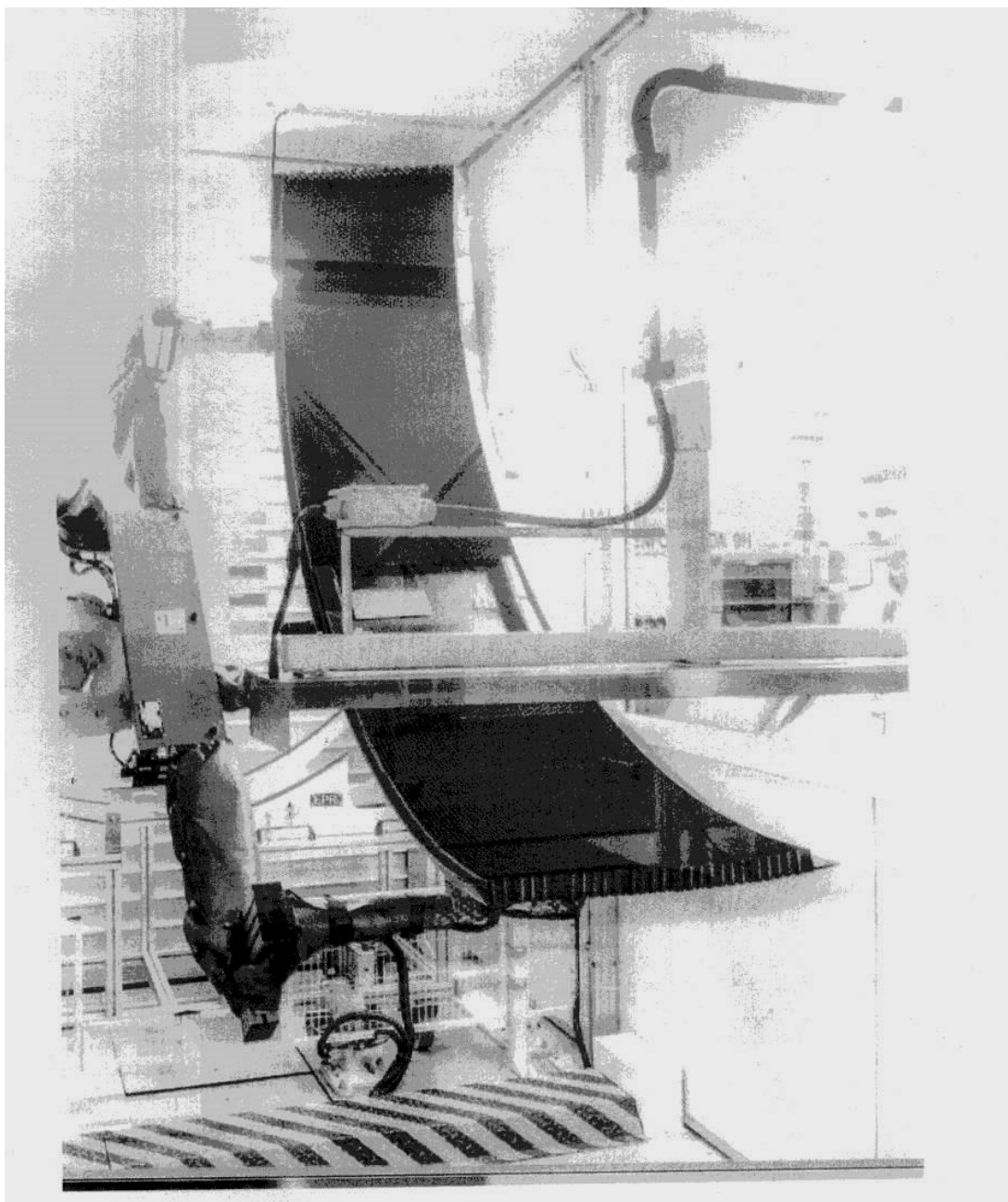


Рис. 8. Шумопоглощающая панель

Эти панели почти целиком изготовлены из углепластика, их видимая поверхность – это стойкий (защитный) слой, специально разработанный Airbus. Эти панели соединяются между собой при помощи ультразвуковой сварки. На внутренней части панели имеются прорези особой формы (рис. 9).

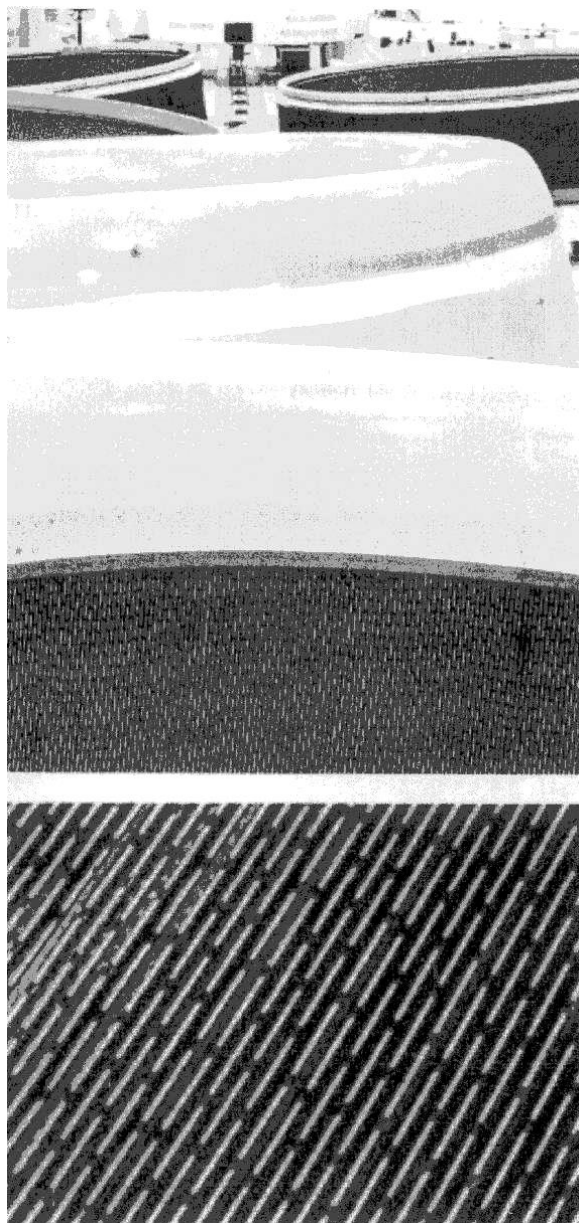


Рис. 9. Прореzi на шумопоглощающей панели

Завод в Нанте разработал технологию the Zero-Splice (нулевая стыковка/сращивание), запатентованную AIRBUS. Эта технология уменьшает шум двигателя в полете, исключив монтажные соединения между секциями шумопоглощающих панелей, размещающихся внутри гондолы. С применением этой технологии шум лайнера уменьшился на 4-5 дБ при взлете и на 2 дБ при посадке.

Завод оснащен дорогостоящим высокоточным автоматическим оборудованием. Так обшивка из углеволокна для шумопоглощающих панелей изготавливается методом автоматизированной намотки на металлические оправки.

Был также показан участок изготовления крупногабаритных композитных панелей обшивки фюзеляжа и килевой балки.

Несущая часть самолета – килевая балка обеспечивает конструктивную непрерывность фюзеляжа в отсеке шасси (рис. 10).

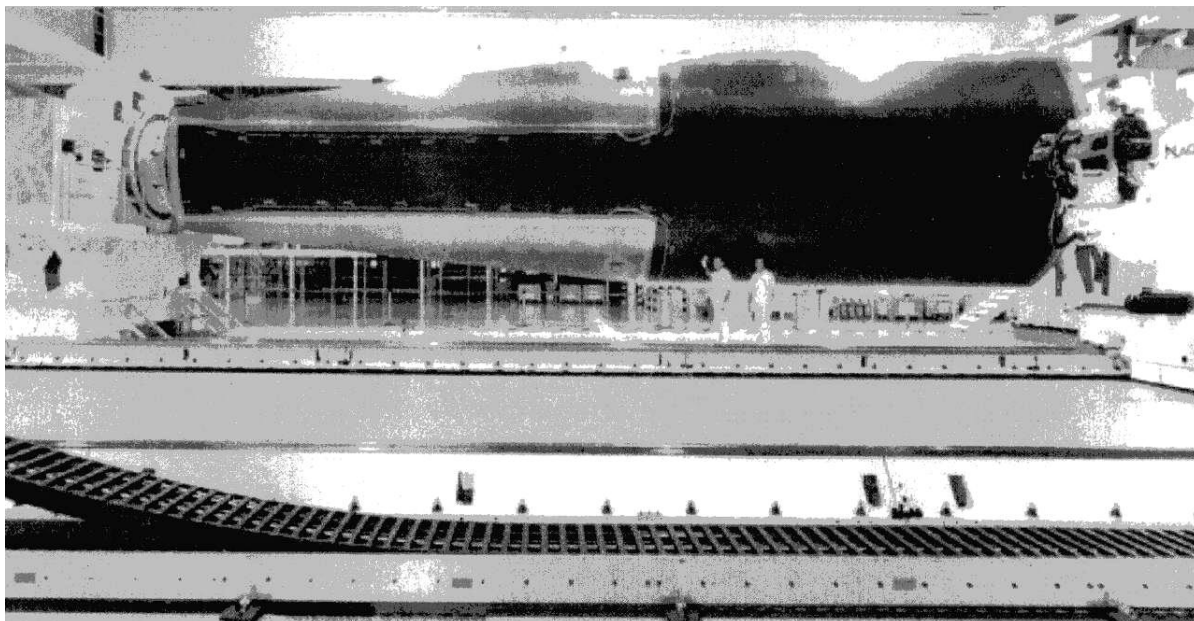


Рис. 10. Килевая балка

Килевая балка на 70% состоит из композитов. Основные компоненты килевой балки самолета A350XWB производятся посредством автоматической выкладки. Обшивка изготавливается путем автоматической выкладки углеволокна. Затем происходит сборка на пленочном клее отвержденной обшивки с предварительно отвержденными углепластиковыми стрингерами, которые устанавливаются на обшивку при помощи лазерной разметки.

Масса углеродных волокон используемых при выкладке составляет 820 кг. После формования и механической обработки эти компоненты подаются на сборку с различными элементами из алюминиевых и титановых сплавов. Самая большая сборка длиной 16,5 м, шириной 4,1 м и общим весом 1,4 т. Она предусматривает сборку 2000 деталей и 10 000 крепежных элементов.

На рис. 11 показана сборка килевой балки.

Охрана труда на заводе на высочайшем уровне. В больших производственных помещениях поддерживается комфортный уровень температурно-влажностного режима, возле рабочих мест стоят стеллажи со средствами индивидуальной защиты и с ручным инструментом и необходимыми для работы, что сокращает время производственных потерь.

Кромки на готовых композитных деталях защищаются специальными профилями (типа поролон), предотвращающие сколы и повреждения во время транспортировки.

### Выводы

1. Из анализа результатов материалов следует, что мировая авиационная промышленность все больше внимания уделяет исследованию конструкционных термопластов и освоению новых технологических процессов, связанных с этими материалами, в частности, сварке.

2. В области авиастроения различными компаниями и институтами ведутся работы по оптимизации и удешевлению процессов производства

деталей из ПКМ, в особенности в направлении безавтоклавных технологий производства.

3. В связи с выпуском самолета A350XWB перед компанией AIRBUS возникла необходимость оперативного ремонта композитных конструкций для замены поврежденных деталей и минимизации простоя летного парка самолетов эксплуатирующими организациями.

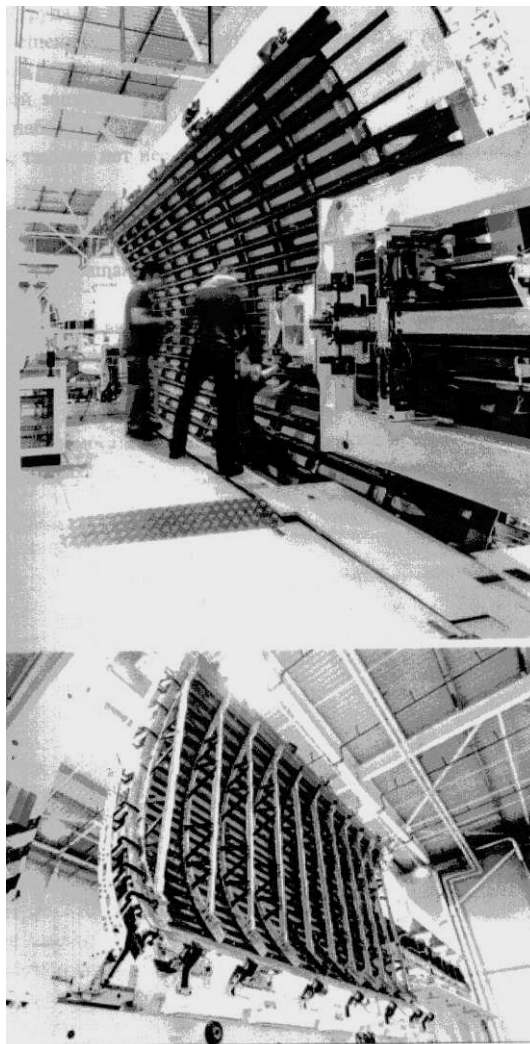


Рис. 11. Сборка килевой балки

### Список литературы

1. Бычков С. А. Решение проблемы создания авиаконструкций из полимерных композиционных материалов на АНТК «Антонов» / С. А. Бычков, В.Г. Бондарь, В.Н. Король // *Авіаційно-космічна техніка і технологія: сб. наук. пр. Нац. аерокосм. ун-ту ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»*. –Х.: ХАІ, 2003. – Вип.. 5(40). – С. 34-37.

2. Бычков С. А. Состояние и проблемы применения новых конструкционных материалов в отечественных гражданских самолетах в современных условиях. Сообщение 2. Полимерные композиты в отечественных самолетах в современных условиях (1995-2015): Первопричины и

закономерности внедрения / С. А. Бычков, А. А. Коцюба // *Авиационно-космическая техника и технология*. Х.: ХАИ, 2016. - № 6(133). – С. 4-14.

3. SAMPE CONFERENCE 2019 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.sampe-europe.org/conferences/sampe-conference-2019-nantes>

4. Головкин Г. С. Научные основы производства изделий из термопластичных композиционных материалов / Г. С. Головкин, В. П. Дмитриенко. – М.: РУСАКИ, 2005. – 472 с.

5. Compbel F.E. Manufacturing Process for Advance Composites, the Boeing Company, USA, 2004, 482 p.

6. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. НОТ, СПб, 2010, 822 с.

### References

1. Bychkov, S. A., Bondar', V. G., Korol', V. N. Reshenie problemy sozdaniya aviakonstruktsii iz polimernykh kompozitsionnykh materialov na ANTK «Antonov» [Solving the problem of creating aircraft structures from polymer composite materials at ASTK Antonov]. *Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnologiya: sb. nauk. pr. Nats. aerokosm. un-tu im. M.E. Zhukovs'kogo «KhAI»*. Kharkov: KhAI Publ. 2003. no. 5(40), pp. 34-37.

2. Bychkov, S. A., Kotsyuba, A. A. Sostoyanie i problemy primeneniya novykh konstruktsionnykh materialov v otechestvennykh grazhdanskikh samoletakh v sovremennykh usloviyakh. Soobshchenie 2. Polimernye kompozity v otechestvennykh samoletakh v sovremennykh usloviyakh (1995-2015): Pervoprichiny i zakonomernosti vnedreniya. [The state and problems of the use of new structural materials in domestic civil aircraft in modern conditions. Communication 2. Polymer composites in domestic aircraft in modern conditions (1995-2015): The root causes and patterns of implementation]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*. Kharkov: KhAI Publ. 2016. no. 6(133), pp. 4-14.

3. SAMPE CONFERENCE 2019 Available at:

<https://www.sampe-europe.org/conferences/sampe-conference-2019-nantes>

4. Golovkin, G. S., Dmitrienko, V. P. *Nauchnye osnovy proizvodstva izdelii iz termoplastichnykh kompozitsionnykh materialov* [Scientific basis for the production of thermoplastic composite materials]. Moscow: RUSAKI Publ. 2005. 472 p.

5. Compbel F.E. Manufacturing Process for Advance Composites, the Boeing Company, USA, 2004, 482 p.

6. Mikhailin, Yu.A. *Konstruktsionnye polimernye kompozitsionnye materialy* [Structural Polymer Composite Materials]. St. Petersburg, NOT Publ. 2010. 822 p.

Поступила в редакцию 10.12.2019, рассмотрена на редколлегии 17.12.2019

### **Перспективи росту використання термопластичних композиційних матеріалів у світовому авіабудуванні**

Показано, що в комплексній проблемі перманентного підвищення конкурентоспроможності авіатехніки особливу роль відіграє об'єм використання полімерних композиційних матеріалів, що збільшується кожного року, в конструкціях повітряних суден транспортної категорії. При цьому важливу роль відіграє не тільки раціональний вибір конструктивно-технологічних рішень їх

вузлів і агрегатів, але й використання нових композиційних матеріалів, які дозволяють знизити собівартість і терміни виготовлення авіаконструкцій, що значною мірою сприяє реалізації високих льотно-технічних і економічних характеристик повітряних суден, конкурентоздатних на світовому ринку продажів і послуг. Проведено огляд і аналіз розвитку нових композиційних матеріалів і технологій їх перероблення у вироби, що обговорювались на щорічній міжнародній виставці Sampe 2019 року. З аналізу результатів матеріалів виставки і конференцій, що проходили в її межах, витікає, що світова авіаційна промисловість все більше уваги приділяє дослідженню конструкційних термопластів і освоєнню нових технологічних процесів, пов'язаних з цими матеріалами, зокрема, зварюванню. В галузі авіабудування різними компаніями і інститутами ведуться роботи з оптимізації і здешевлення процесів виробництва деталей з полімерних композиційних матеріалів, особливо у напрямку безавтоклавних технологій виробництва. Наведено нові розробки провідних авіабудівних компаній, зокрема, AIRBUS, зі створення великогабаритних відповідальних високонавантажених елементів конструкцій літаків із полімерних композиційних матеріалів з термопластичною матрицею. Особливої уваги заслуговує технологія 3D друку, яку авіабудівні компанії успішно розпочали використовувати для виготовлення деталей авіаконструкцій. Відзначається, що така технологія дозволяє не тільки зменшити виробничий цикл виготовлення деталей, але й суттєво знизити енергоємність процесів, що позитивно впливає на собівартість виробів. Під час відвідування заводу AIRBUS у Нанті відзначено високий рівень автоматизації виробничих процесів виготовлення деталей із полімерних композиційних матеріалів з великою кількістю викладальних, намотувальних машин, верстатів з ЧПК, роботів, що обумовлюється значною програмою виробництва літаків A350XWB і A400M з високим ступенем автоматизації процесів виробництва, а також вельми високий рівень техніки безпеки і охорони праці.

**Ключові слова:** полімерні композиційні матеріали, термопластична матриця, авіаконструкції, технологія виробництва, технологічне обладнання.

### **Prospects for the growth of the use of thermoplastic composite materials in the global aircraft industry**

It is shown that in the complex problem of permanent increase in the competitiveness of aircraft, a special role is played by the increasing use of polymer composite materials in aircraft structures of the transport category every year. An important role is played not only by the rational choice of structural and technological solutions of their units and assemblies, but also by the use of new composite materials to reduce the cost and production time of aircraft structures, which greatly contributes to the implementation of high flight technological and economic characteristics of competitive aircraft in the global market for sales and services. A review and analysis of the development of new composite materials and technologies for their processing into products, discussed at the annual international exhibition Sampe 2019. From an analysis of the results of the materials of the exhibition and conferences held within its framework, it follows that the global aviation industry is paying more and more attention to the study of structural thermoplastics and the development of new technological processes associated with these materials, in particular, welding. In the field of aircraft manufacturing, various companies and



institutes are working to optimize and reduce the cost of production processes for parts from polymer composite materials, especially in the direction of autoclave-free production technologies. New developments of leading aircraft manufacturers, in particular AIRBUS, for the creation of large-sized responsible high-load structural elements of aircraft from polymer composite materials with a thermoplastic matrix are presented. Of particular note is 3D printing technology, which aircraft manufacturers have successfully begun to use for the manufacture of aircraft parts. It is noted that this technology allows not only to reduce the production cycle of manufacturing parts, but also significantly reduce the energy intensity of processes, which positively affects the cost of products. During a visit to the AIRBUS factory in Nantes, a high level of automation of production processes for manufacturing parts from polymer composite materials with a large number of laying, winding machines, CNC machines, robots was noted, which is due to a significant production program for the A350XWB and A400M aircraft with a high degree of automation of production processes, and also a very high level of safety and labor protection.

**Keywords:** polymer composite materials, thermoplastic matrix, aircraft structures, production technology, technological equipment.

#### **Сведения об авторах:**

**Бычков Сергей Андреевич** – доктор технических наук, профессор, Главный инженер ГП «АНТОНОВ», Украина.

**Гайдачук Александр Витальевич** – доктор технических наук, профессор Технологического университета г. Нинбо, КНР, [arbalet98@ukr.net](mailto:arbalet98@ukr.net)

**Андреев Алексей Викторович** – кандидат технических наук, Заместитель Главного инженера ГП «АНТОНОВ», Украина, [andreev@antonov.com](mailto:andreev@antonov.com)

**Wang Bo** – кандидат экономических наук, доцент Технологического университета г. Нинбо, КНР.

#### **About the Authors**

**Bychkov Sergey Andreevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Engineer of Antonov State Enterprise, Ukraine.

**Gaydachuk Alexander Vitalievich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Ningbo University of Technology, China, [arbalet98@ukr.net](mailto:arbalet98@ukr.net)

**Alexey Andreev** – Candidate of Technical Sciences, Deputy Chief Engineer of Antonov State Enterprise, Ukraine, [andreev@antonov.com](mailto:andreev@antonov.com)

**Wang Bo** – Ph.D. in Economics, Associate Professor, Ningbo University of Technology, China