

Особенности ремонта деталей из полимерных композиционных материалов при помощи автономного ремонтного оборудования

А.В. Андреев¹ • Б.В. Лубкин² • В.С. Нитка¹ • В.С. Петропольский¹

1 - Государственное предприятие «Антонов», Киев, Украина;

2 - Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

Received: 12 October 2018 / Accepted: 21 November 2018

Аннотация. Рассмотрены вопросы отработки технологии ремонта конструкций из ПКМ с использованием автономного ремонтного оборудования (АРО). Описаны возможности и примеры использования АРО. Отработаны несколько конструктивно-технологических решений (КТР) по выполнению ремонтов агрегатов из ПКМ при помощи АРО непосредственно на самолете. Описана технология ремонта дефектной зоны агрегата из полимерного композита транспортного самолета.

Проведен анализ прочностных характеристик и технологичности выполнения ремонта после проведения завершения работ. Разработаны рекомендации по применению АРО при выполнении работ непосредственно на самолете в «полевых» условиях.

Ключевые слова: композиционный материал; автономное ремонтное оборудование; ремонт; конструктивно-технологические решения; термоодеяла; нагрев; вакуумирование; режим; дефект; технология

Вступление

В связи с постоянно растущим объемом применения ПКМ в изделиях авиационной техники (АТ) [1-3], возникает необходимость в быстром и качественном проведении сервисного обслуживания воздушных судов (ВС) и ремонта агрегатов с целью сокращения времени их простоя и, как следствие, сокращения материальных потерь авиакомпаний, эксплуатирующих такие ВС.

В настоящее время большинство организаций, обслуживающих АТ, для оперативного ремонта поврежденных композитных агрегатов ВС используют автономное ремонтное оборудование (АРО). Применение такого оборудования дает следующие преимущества в сравнении с традиционными методами ремонта:

- сокращение трудоемкости ремонта за счет отсутствия необходимости демонтажа агрегатов с самолета и его транспортировки в ремонтный цех;
- сокращение цикла простоя ВС за счет более оперативного выполнения работ непосредственно на ВС;
- сокращение энергетических затрат.

Постановка задачи

Целью данной работы является оценка технологичности, экономической эффективности и целесообразности выполнения ремонтных работ непосредственно на ВС с применением АРО в сравнении с традиционными методами ремонта, требующими демонтажа агрегатов ВС.

АРО (рис. 1) представляет собой универсальное устройство для ремонта отдельных зон агрегатов из ПКМ. При помощи данного прибора создается вакуумное разряжение, обеспечивается нагрев в зоне ремонта, а также осуществляется контроль и регистрация температуры и значения вакуума на поверхности ремонтируемых зон. Прибор является портативным, автономным и легко транспортабельным.

В комплект АРО входят: встроенный компьютер, вакуумные насосы, блок управления нагревом и давлением (вакуумным разрежением), встроенный принтер для ведения отчетности поэтапно или поминутно в режиме реального времени, термоодеяла (нагреватели), вакуумные шланги, термодулы, переходники и соединительные элементы.

Обеспечение вакуумного разрежения может быть обеспечено тремя способами:

- электрическим вакуумным насосом, встроенным в прибор;

✉ А.В. Андреев
andreev@antonov.com



Рис. 1. Внешний вид АРО

- от подачи сжатого воздуха на инжекционный насос, встроенный в прибор;
- от внешнего источника вакуума, подключаемыми к АРО.

Максимальная температура полимеризации - 260°C, контроль за температурой осуществляется терморезисторами.

Для отработки технологии ремонта, в ходе планового обслуживания ВС, был определен агрегат хвостового оперения из ПКМ транспортного самолета. По результатам акустического контроля были обнаружены ряд дефектов в виде отслоения обшивки от заполнителя, которые должны быть устранены (рис. 2): $S_1=5\text{cm}^2$, $S_2=5\text{cm}^2$, $S_3=5\text{cm}^2$, $S_4=5\text{cm}^2$, $S_5=10\text{cm}^2$, $S_6=15\text{cm}^2$, $S_7=5\text{cm}^2$ с стороны верхней обшивки агрегата.

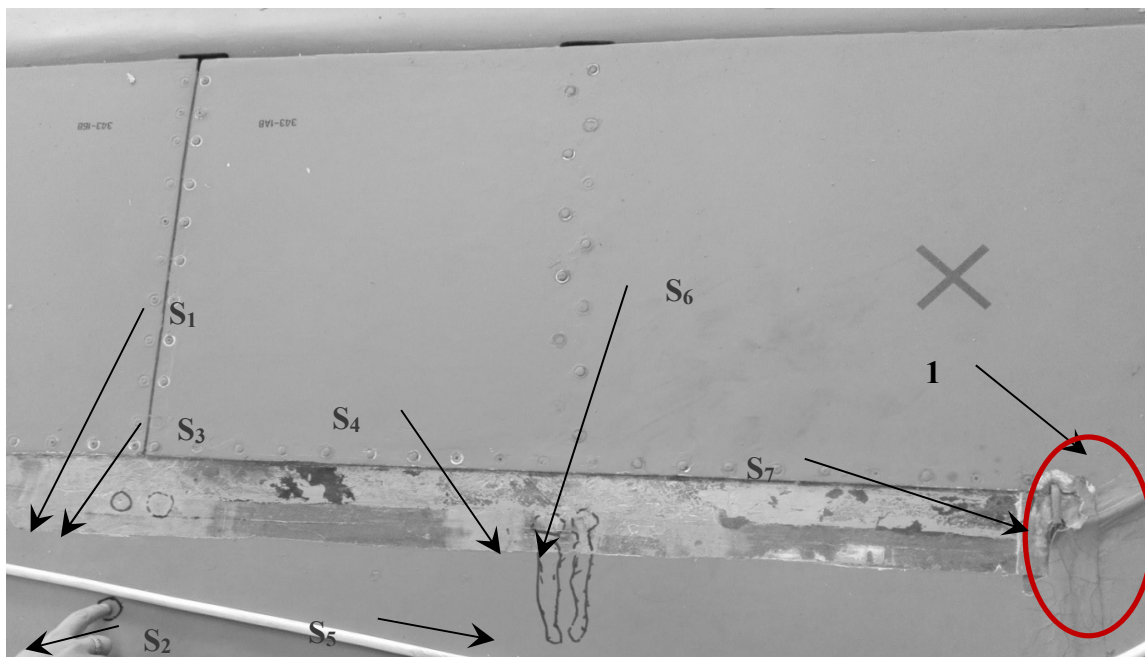


Рис. 2. Места расположения дефектов

Устранение дефектов выполнялось по отработанной технологии ремонта трехслойных конструкций с удалением поврежденных слоев, сушкой, установкой вкладышей и восстановлением наружной обшивки из аналогичного материала, из которого изготовлен агрегат.

Операции по подготовке к вакуумированию и проведению режима термообработки при помощи АРО содержат следующие основные этапы:

- укладка прокладок из отформованного заранее стеклопластика между ремонтными накладками, эти прокладки предотвращают возможность вдавливания баз штуцеров в поверхность агрегата;
- установка терморезистора рядом с каждой ремонтной накладкой для контроля нагрева ремонтируемой зоны и отслеживания режима термообработки;

- установка перфорированной разделительной пленки и дренажной ткани поверх ремонтных накладок;
- установка термоодеяла непосредственно над ремонтируемыми зонами. Цулаги при этом не применяются, т. к. термоодеяла обладают достаточной жесткостью, чтобы работать в качестве цулаг.
- установка баз для штуцеров поверх дренажной ткани в зонах установки прокладок (рис. 3). Базы в центре отслеживают значение вакуумного разряжения, базы по бокам (рис. 4) откачивают воздух из пакета при помощи встроенного в прибор вакуумного насоса;
- изготовление вакуумного мешка (рис. 5);
- установка штуцера для создания и отслеживания вакуумного разряжения.

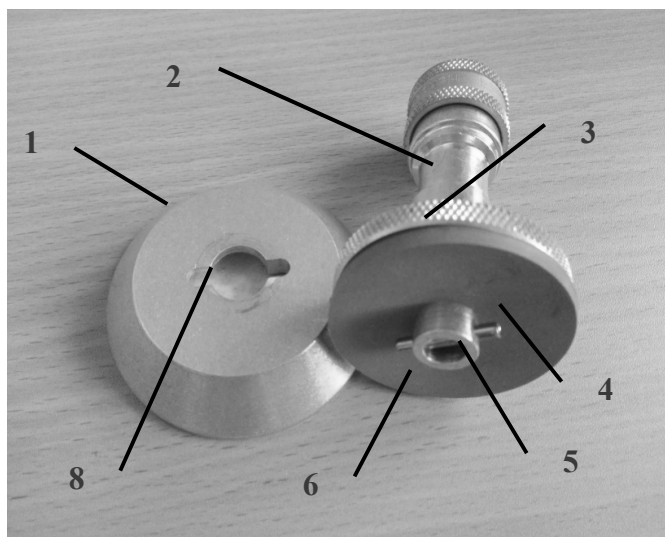
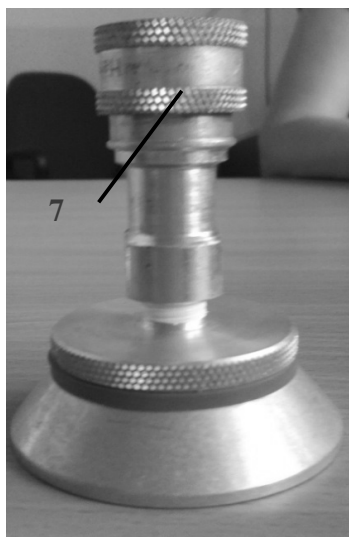


Рис. 3. Конструкция штуцера для обеспечения и мониторинга вакуумного разряжения
 (1-база;2-корпус штуцера;3-шайба с насечками;4-уплотнитель;5-трубка с режущей кромкой;6-вывод воздуха;
 7-приемник вакуумного шланга;8-отстойник излишков связующего(внутри базы 1))

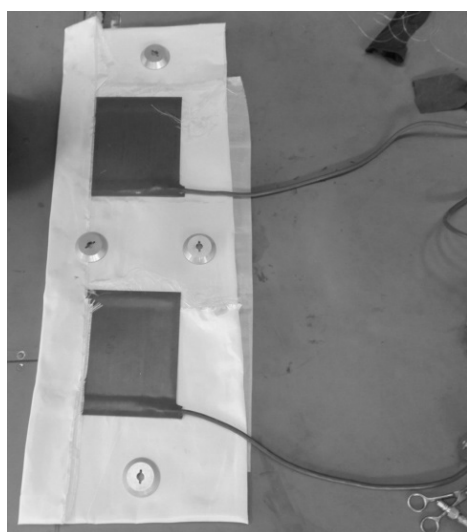


Рис. 4. Подготовка к вакуумированию и термообработке

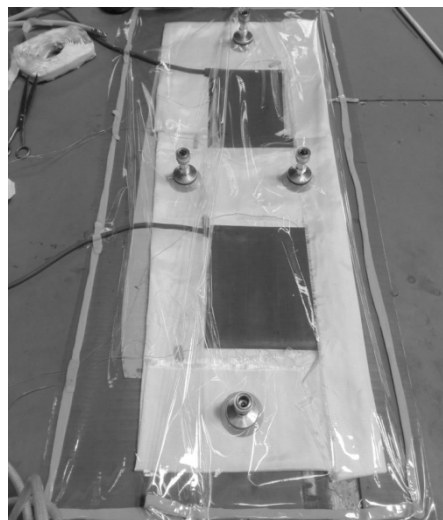


Рис. 5. Установка вакуумного мешка и вакуумных штуцеров

Следующим этапом технологии ремонта является установка и сборка АРО:

- подключить кабели питания сети, кабели питания термоодеял, шланги вакуумного разряжения и термопар (по две на каждую зону ремонта)
- подключить все штуцера к ремонтному вакуумному мешку и включить питание прибора, затем включить вакуумный насос (рис. 6);
- достигнув необходимого разряжения не менее - $0,5\text{кг/см}^2$, запустить программу термообработки, составленную оператором АРО заранее;

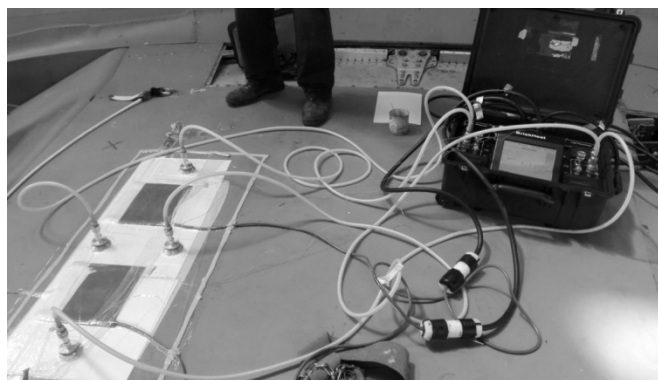


Рис. 6. АРО в сборе, подключенное к ремонтному пакету

- выбирать зону, на которой выполняется ремонт, и запустить программу термообработки. В данном случае работа велась по двум зонам одновременно с одинаковым режимом, так как под одним мешком уместились две зоны ремонта;

Весь режим термообработки с нагревом, выдержкой и охлаждением занял 90 мин., отчет по прохождению режима сохранен на USB накопитель, на рисунке 7, показаны ремонтные накладки после проведения ремонта.



Рис. 7. Ремонтные накладки после проведения ремонта

Оценка технологичности проведения ремонта.

Ремонт выполнялся на основе полученного ранее опыта ремонтных работ[4] и с учетом новых наработок по применению АРО.

Для проведения ремонта была первоначально проанализирована возможность проведения ремонта с применением клея, проведен анализ существующих видов ремонта конструкций из ПКМ, в частности один из наиболее сложных случаев ремонта с односторонним доступом.

Установлено, что наиболее широко применяемым способом соединения ремонтных элементов (накладок) с основной поврежденной конструкцией являются клеевые соединения.

Проведены испытания на срез ремонтных образцов с применением эпоксидного клея с полимеризацией при температуре 70°C и умеренном давлении склейки, создаваемом счет вакуумного разряжения.

Выполнено сравнение прочности ремонтных образцов с прочностью исходных неповрежденных соединений и проверена устойчивость ремонтных соединений к долговременному воздействию влаги (см. Таблицу 1).

Прочность соединения ремонтных образцов

Описание образца	Количество образцов	τ_{cp} кг/мм ²
Пластины - заранее отформованные из углепластика ЭЛУР-ПА/ЭДТ-69Н. Соединение – вакуум – автоклавная приформовка препрегом ЭЛУР-ПА [± 45] ₄ на связующем ЭДТ-69Н. Состояние - свежееизготовленные	8	8,91
Пластины - заранее отформованные из углепластика ЭЛУР-ПА/ЭДТ-69Н. Соединение – вакуум – автоклавная приформовка препрегом ЭЛУР-ПА [± 45] ₄ на связующем ЭДТ-69Н. Состояние – после влагонасыщения	8	8,74
Пластины - заранее отформованные из углепластика ЭЛУР-ПА/ЭДТ-69Н. Соединение – склейка препрегом УТ-900 [± 45] ₂ на клее ВК-9. Состояние - свежееизготовленные	7	12,3
Пластины - заранее отформованные из углепластика ЭЛУР-ПА/ЭДТ-69Н. Соединение – склейка препрегом УТ-900 [± 45] ₂ на клее ВК-9. Состояние - после влагонасыщения	8	14,3

Из таблицы 1 видно, что прочность ремонтных образцов, соединенных с помощью клея, оказалась выше образцов, соединение которых выполнено приформовкой препрега на связующем вакуум - автоклавным формованием. Таким образом, ремонт с использованием клея может быть применен непосредственно на агрегате.

При ремонте обшивок агрегата вместо удаленных слоев использовались накладки из слоев углеродной и стеклянной ткани. Для обеспечения необходимой прочности соединения слои ремонтной накладки укладывались внахлест со смещением. Пропитка тканей осуществлялась путем нанесения эпоксидного клея вручную.

Полимеризация ремонтной накладки потребовала тщательного контроля температуры на ремонтируемой зоне 60-70 °С и создания давления на уровне 0,5-0,8 кг/см². Создание давления осуществлялось при помощи вакуумного насоса, встроенного в АРО, нагрев осуществлялся при помощи термоодеял, подключенных к питанию АРО. Весь контроль за давлением и температурой осуществлялся при помощи встроенного компьютера АРО.

После завершения каждого этапа ремонта был проведен неразрушающий контроль. Результаты контроля показали отсутствие непроклеев и других дефектов, что подтверждает качество и надежность выполненных работ. Таким образом продемонстрирована эффективность проведенных ремонтов при помощи подобного оборудования, и принятых конструктивно-технологических решений.

На основании проведенных работ был получен опыт по:

- доставке, подъему к зоне ремонта и подключению прибора непосредственно на самолете;
- применению эпоксидного клея для ремонта в «полевых условиях»;
- ремонту трехслойных конструкций с применением АРО непосредственно на самолете.

Анализ экономической эффективности выполненных работ.

В отличие от приведенного в данной статье ремонта непосредственно на самолете, ремонт агрегата на площадях цеха- изготовителя требует существенных дополнительных затрат на:

- буксировку машины до места демонтажа агрегата (иногда перелет до места ремонта);
- демонтаж агрегата с самолета (рабочее время персонала и энергозатраты крана);
- транспортировку агрегата до цеха - изготовителя;
- выполнение работ в цехе (особенно если ремонт выполняется из тех же материалов и по той же технологии, что и агрегат);
- работу автоклава (количество затраченной электроэнергии и ресурс, рабочее время обслуживающего его персонала);
- простой самолета за счет длительного ремонта.

Время устранения группы дефектов непосредственно на самолете, вписывающихся в размеры параметров термоодеял составляет 180 – 210 мин. работы двух специалистов и оператора.

Выводы

В настоящее время постоянно повышаются требования к сертификации самолетов, в том числе и в вопросах соблюдения технологических параметров, как при изготовлении, так и в эксплуатации, в том числе и при ремонтных работах. АРО оснащено средствами контроля и регистрации параметров проведения ремонта, таких как температура, давление и время. Вся необходимая доказательная документация может предоставляется по требованию эксплуатантов самолета или органов, отвечающих за обеспечение норм летной годности в электронном виде, либо в виде распечаток со встроенных принтеров прибора.

Особливість ремонту деталей з полімерних композиційних матеріалів за допомогою автономного ремонтного обладнання

О.В. Андреев, Б.В. Лубкин, В.С. Нитка, В.С. Петропольский

***Анотація.** Розглянуті питання відпрацювання технології ремонту конструкцій з ПКМ з використанням автономного ремонтного обладнання. Продемонстровано можливості та приклади використання обладнання. Відпрацьовано декілька конструктивно-технологічних рішень щодо виконання ремонтів агрегатів з ПКМ з використанням автономного ремонтного обладнання на літаку.*

Виконаний аналіз характеристик міцності та технологічності виконання ремонту після завершення робіт. Розроблені рекомендації щодо використання обладнання з метою виконання робіт на літаку у «польових» умовах.

Ключевые слова: композиційний матеріал; автономне ремонтне обладнання; ремонт; конструктивно-технологічні рішення; нагрів; режим; дефект; технологія.

Features of repairing polymer composite parts with self-contained repair equipment

B.V. Lubkin, O.V. Andriev, V.S. Petropolsky, V.S. Nitka

***Abstract.** This paper covers development of repair procedures for the polymer composite (PC) structures using the off-line repair equipment (ORE). The ORE capabilities and examples of use are described. Several design and technological solutions for repair of PC components with the use of ORE directly on the aircraft have been developed. Procedures for repair of defective areas in the PC components of the transport aircraft are described.*

Strength properties and reparability have been analyzed upon completion of the activities. Recommendations on the use of ORE during repair on the aircraft in the field conditions have been developed.

Keywords: composite material, self-contained repair equipment, repair, design and technological solutions, thermo blanket, heating, vacuumization, curing, defect, technology.

References

1. The European GRP market in 2017 - JEC Composites magazine, no. 118 pp. 20-22.
2. Андреев А.В. Концепция технологического обеспечения создания эффективных конструкций отечественных гражданских самолетов из полимерных композиционных материалов в современных условиях / А.В. Андреев, В.Е. Гайдачук, А.В. Кондратьев, О.В. Орлов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2017. – №3(138). – С.64-76.
3. Бычков С.А. Состояние и проблемы применения новых конструкционных материалов в отечественных гражданских самолетах в современных условиях. Сообщение 2. Полимерные композиты в отечественных гражданских самолетах в современных условиях (1995-2015 г.г.): первопричины и закономерности внедрения / С.А. Бычков, А.А. Коцюба // Авиационно-космическая техника и технология. - 2016. - №6(133). - С.4-14.
4. Методы ремонта агрегатов планера самолетов из композиционных материалов с трубчатым наполнителем / [Кива Д.С., Двейрин А.З., Василевский Е.Т., Петропольский В.С. и др.]. – К.: Научно-технический журнал «Технологические Системы». - 2013. №2(63).