

УДК 621.792.053

В.И. Постнов¹, М.В. Постнова¹, А.А. Баранников¹, Е.А. Вешкин¹

ВРЕМЕННЫЕ СЛОИСТЫЕ СТОППЕРЫ: МАТЕРИАЛЫ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-45-32-41

Во время эксплуатации самолета на его поверхности часто появляются дефекты и повреждения, которые при дальнейшем использовании планера могут привести к его поломке. Поэтому в условиях аэродрома проводят оперативный ремонт таких дефектов, который позволяет повысить работоспособность и долговечность конструкции. В статье представлен сравнительный анализ фольг с липким слоем (ФЛС), изготовленных из разных композиций алюминиевых сплавов и клея. Приведены их адгезионные и прочностные характеристики, а также влияние стопперов из ФЛС на скорость роста усталостных трещин в алюминиевых обшивках авиационной техники.

Ключевые слова: фольгоплен, временный ремонт, вибронгрузки, временный слоистый стоппер, адгезия, алюминиевая лента.

V.I. Postnov¹, M.V. Postnova¹, A.A. Barannikov¹, E.A. Veshkin¹

TEMPORARY LAMINATED STOPPERS: MATERIALS, PROPERTIES, APPLICATION

During plane operation on a glider surface often there are defects and damages which at the further operation can lead to breakage, therefore in the conditions of aerodrome carry operative out repairs of such defects, allowing to raise functionability and durability of a design. In activity comparative analysis FSL of the aluminium alloys made of different compositions and glue is presented. Their comparative adhesive characteristics are resulted.

Are resulted their comparative adhesive and прочностные characteristics, and as agency of stoppers from FSL on growth rate of fatigue cracks in aluminium sheetings of an aeronautics.

Keywords: aluminum fowl tape, temporary repair, vibrating loadings, the temporary laminated stopper, adhesion, aluminium tape.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

В самолетостроении за последнее время появилось много новых конструкционных материалов, как металлических, так и полимерных [1–4]. Эти материалы активно применяют для изготовления различного рода конструкций и изделий, во время эксплуатации которых возникает необходимость их оперативного временного ремонта. Современные технологии ремонта авиационной техники постоянно развиваются и в данной связи появляется необходимость создания новых, более совершенных клеящих материалов, которые позволяли бы проводить ремонтные работы в условиях эксплуатирующих организаций [5, 6]. С середины 1990-х гг. на зарубежной авиационной технике впервые для ремонта мелких повреждений тонкостенных панелей и обшивки самолета были применены клейкие ленты на алюминиевой основе. Такой ремонт позволяет замедлять скорость роста трещин, что увеличивает время эксплуатации планера на 40–100 летных часов [7].

Цель работы – разработка технологии установки временных слоистых стопперов (ВСС) из алюминиевой фольги с липким слоем (ФЛС) для оперативного ремонта панелей.

Проведенные во ФГУП «ВИАМ» [8–10] исследования по данному вопросу позволили выбрать сырье и компоненты для изготовления фольги с липким слоем, отработать технологию нанесения клеевого слоя на алюминиевую фольгу, гарантирующего сохранение его адгезионных и технологических свойств не менее чем на 12 мес со дня изготовления.

Материалы и методы

Исследованные образцы ФЛС представляют собой фольгу из алюминиевого сплава АМг-2М толщиной от 0,06 до 0,08 мм с нанесенным на нее слоем клея ВКЛ-3 [11–13]. При разработке технологии наклейки ФЛС на зоны повреждений в качестве критерия оценки способа подготовки поверхностей образца обшивки и соединения выбрана величина адгезии (сила сцепления) клеевого слоя к поверхности ремонтируемого элемента. отработка технологии подготовки образцов листов из сплава Д16ч.-АТ (в состоянии поставки; анодированные листы; листы, обработанные шлифовальной шкуркой; листы со штатным покрытием) заключалась в обезжиривании поверхности ремонтируемого образца различными растворителями (изопропиловым спиртом, нефрасом с антистатической присадкой «Сигбол» и ацетоном). При проведении исследований по оценке адгезионных свойств ФЛС с подготовленными различными способами поверхностями использованы следующие композиции фольги с липким слоем:

- фольга АМг2М + клей ВКЛ-3 (ВИАМ);
- фольга А-7М + акриловый клей АК-403-23 (ООО «Универсалпром»);
- импортный фольгоплен (фирма MINNESOTA).

Оценка адгезии ФЛС проводилась на установке, где прижимное усилие на единицу длины контакта склеиваемых материалов регулировалось в пределах от 0 до 0,3 н/м перемещением груза на рычаге.

Результаты и обсуждение

В табл. 1 приведены результаты испытаний ФЛС (фольги с липким слоем (ВИАМ)) в контакте с образцом из сплава Д16ч.-АТ с различным состоянием его поверхности. Во всех случаях усилие прижима ФЛС к поверхности образца составляло 0,1 Н/м.

Таблица 1

**Результаты измерения силы сцепления ФЛС (ВИАМ)
в зависимости от вида подготовки поверхности листа из сплава Д16ч.-АТ
в различном состоянии и от длительности прижима**

Состояние поверхности листа	Обработка растворителем	Сила сцепления, Н/м, при длительности прижима, с		
		1	5	10
С лакированным слоем	Изопропиловый спирт	265	395	445
	Нефрас	320	340	430
	Ацетон	355	400	445
С покрытием Ан.окс.хр	Без растворителя	1185	–	1390
	Изопропиловый спирт	1120	1310	1175
	Нефрас	860	1275	1410
	Ацетон	1045	1200	1310
С лакированным слоем, обработанным шлифовальной шкуркой №25	Без растворителя	280	480	360
	Изопропиловый спирт	670	720	875
	Нефрас	330	445	510
	Ацетон	310	650	845
С нанесением штатного лакокрасочного покрытия (ЛКП)	Ацетон	–	350	–
	Ацетон (после зашкуривания)	–	630	–

Анализ полученных данных показал: покрытие Ан.окс.хр листов из сплава Д16ч.-АТ является наилучшим видом подготовки поверхности перед нанесением на нее ФЛС; возрастание длительности прижима ФЛС к листам из сплава Д16ч.-АТ приводит к увеличению силы сцепления их между собой.

В табл. 2 приведены результаты испытаний ФЛС (ВИАМ) в контакте с образцом из листа сплава Д16ч.-АТ с плакированным слоем, обработанным шлифовальной шкуркой. Во всех случаях листы обработаны ацетоном.

Таблица 2

**Результаты измерения силы сцепления ФЛС (ВИАМ)
в зависимости от усилия прижима к поверхности листа из сплава Д16ч.-АТ**

Состояние поверхности листа	Длительность прижима, с	Усилие прижима, Н/м	Сила сцепления, Н/м
С плакированным слоем, обработанным шлифовальной шкуркой №25	1	0	795
		0,1	730
		0,15	895
		0,3	1270
	5	0	810
		0,05	735
		0,1	905
		0,15	1040
		0,3	1040

Результаты испытаний показали, что усилие прижима ФЛС к образцу из сплава Д16ч.-АТ в значительно большей степени сказывается на силе сцепления их между собой, чем даже длительность их контакта.

Аналогичные испытания проведены для ФЛС (фольга А-7М + акриловый клей АК-403-23 (ООО «Универсалпром»)) и фольгоплен (фирма MINNESOTA) в контакте с листом из сплава Д16ч.-АТ с различным состоянием его поверхности (табл. 3 и 4) и при усиллии прижима во всех случаях Н/м.

Таблица 3

**Результаты измерения силы сцепления ФЛС (ООО «Универсалпром»)
в зависимости от длительности прижима к поверхности листа из сплава Д16ч.-АТ**

Состояние поверхности листа	Обработка растворителем	Сила сцепления, Н/м, при длительности прижима, с	
		1	5
С обработкой шлифовальной шкуркой	Без растворителя	560	720
	Изопропиловый спирт	605	715
	Нефрас	545	630
	Ацетон	580	750
С покрытием Ан.окс.хр.	Без растворителя	650	1010
	Изопропиловый спирт	700	960
	Нефрас	610	865
	Ацетон	730	765
С нанесением штатного ЛКП	Нефрас	600	785

При исследовании адгезии клеевого слоя ФЛС к ремонтируемой поверхности получены значения силы сцепления для различных сочетаний: состояния поверхности,

способов ее обработки, наклейки и марки примененной ФЛС. Наиболее высокую адгезию к ремонтируемой поверхности показали образцы ФЛС, изготовленные в ВИАМ с клеем ВКЛ-3 толщиной от 30 до 80 мкм. Значения силы сцепления этой композиции в зависимости от состояния поверхности, на которую она приклеивалась, составили от 450 Н/м (лист из сплава Д16ч.-АТ в состоянии поставки) до 1400 Н/м (лист из сплава Д16ч.-АТ с покрытием Ан.окс.хр), что на 20–40% превышает аналогичные значения для клейких лент производства фирмы MINNESOTA и на 20–80% – значения липкости фольгоплен, изготовленного ООО «Универсалпром». Следует также отметить, что наибольшей адгезией обладает фольга с липким слоем к поверхности с анодным покрытием.

Таблица 4

**Результаты измерения силы сцепления ФЛС (фирма MINNESOTA)
в зависимости от длительности прижима к поверхности листа из сплава Д16ч.-АТ**

Состояние поверхности листа	Обработка растворителем	Сила сцепления, Н/м, при длительности прижима, с	
		1	5
С обработкой шлифовальной шкуркой	Изопропиловый спирт	785	835
	Нефрас	520	715
	Ацетон	660	730
С покрытием Ан.окс.хр.	Изопропиловый спирт	980	1000
С нанесением штатного ЛКП	Нефрас	330	505

Для оценки механических свойств системы «ФЛС–обшивка из листа сплава Д16ч.-АТ» в качестве обезжиривающей жидкости выбран нефрас. Для испытаний использованы следующие состояния поверхности алюминиевого листа: состояние поставки, с анодированной поверхностью (Ан.окс.хр), с обработкой шлифовальной шкуркой №25, с нанесением штатного ЛКП.

Обезжиривание подготовленной поверхности листа из алюминиевого сплава проводили по следующей схеме: салфеткой, смоченной нефрасом, протирали место наложения ФЛС, затем чистой салфеткой насухо протирали это место и выдерживали перед наклейкой в течение 8–10 мин.

Образцы системы «ФЛС–обшивка из листа сплава Д16ч.-АТ» изготавливали, применяя следующие композиции:

- ФЛС (ВИАМ) – алюминиевая фольга + клей ВКЛ-3 толщиной 40–50 и 20–30 мкм;
- ФЛС (ООО «Универсалпром») – алюминиевая фольга + акриловый клей АК-403-23 толщиной 10 и 60 мкм;
- импортный фольгоплен (фирма MINNESOTA) с толщиной клеевого слоя 100 мкм.

Испытания по определению характеристик сдвига и отрыва проводили на разрывной машине с погрешностью измерения, не превышающей 1% от измеряемой величины. Скорость перемещения активного захвата 50 мм/мин.

Образцы для испытаний на отрыв изготавливали согласно ГОСТ 21981–76, а для испытаний на сдвиг – согласно ГОСТ 14759–69. Все образцы представляли собой полосу из алюминиевого сплава Д16ч.-АТ толщиной 1,5 мм, на которую наклеивали ФЛС. Для увеличения контакта клеевого слоя с поверхностью листа фольгу прикатавали резиновым валиком с усилием прижима 0,4 Н/м. Результаты испытаний приведены в табл. 5 и 6.

**Результаты испытаний образцов системы
«ФЛС–обшивка из листа сплава Д16ч.-АТ» на отрыв**

Состояние поверхности листа	Усилие отслаивания образцов, Н/м, при толщине клеевого слоя, мкм			
	ФЛС (ВИАМ)		ФЛС («Универсалпром»)	
	40–50	20–30	60	10
Состояние поставки	0,1,0	–	0,063	0,03
С покрытием Ан.окс.хр	0,068	0,055	0,083	0,055
С покрытием Ан.окс.хр и обработкой нефрасом	0,07	0,065	0,079	0,057
С нанесением штатного ЛКП	0,095	–	0,057	–
С обработкой шлифовальной шкуркой	0,051	–	0,059	0,042

Таблица 6

**Результаты испытаний образцов системы
«ФЛС–обшивка из листа сплава Д16ч.-АТ» на сдвиг**

Состояние поверхности листа	Прочность образцов при сдвиге, МПа, при толщине клеевого слоя, мкм				
	ФЛС (ВИАМ)		ФЛС («Универсалпром»)		ФЛС (MINNESOTA)
	40–50	20–30	60	10	100
Состояние поставки	0,72	–	0,39	0,59	–
С покрытием Ан.окс.хр	0,58	0,42	0,46	0,62	0,6
С покрытием Ан.окс.хр и обработкой нефрасом	0,82	0,41	0,48	0,56	–
С обработкой шлифовальной шкуркой	0,42	–	0,41	0,45	0,44
С нанесением штатного ЛКП	0,58	–	0,41	0,59	–

Анализ результатов испытаний, приведенных в табл. 5 и 6, позволяет сделать вывод, что ФЛС, разработанные в ВИАМ, имеют более высокие характеристики на отрыв и сдвиг по сравнению с фольгопленами, изготовленными ООО «Универсалпром», и находятся на одном уровне с характеристиками клейких лент зарубежного производства.

Так как ремонтные работы авиационных конструкций обычно происходят в условиях аэродромного базирования воздушных судов (ВС), то были проведены исследования влияния температурных условий установки ФЛС на их адгезивные свойства к ремонтируемым обшивкам. Влияние температуры приклеивания ФЛС на ремонтируемую поверхность на адгезионные свойства клеевого слоя оценивали путем определения прочности при сдвиге. Состояние поверхности листа из сплава Д16ч.-АТ выбрано в двух вариантах: с обработкой поверхности шлифовальной шкуркой и с нанесением штатного ЛКП. Обработку поверхности проводили нефрасом и перед склеиванием с ФЛС делали выдержку 15–20 мин. Для обеспечения необходимых температур при испытаниях использовали промышленный холодильник с диапазоном рабочих температур от -15 до +10 °С. Полоски ФЛС помещали в холодильник не менее чем за 20 мин до склеивания. Для сохранения постоянной температуры в ходе испытаний каждый образец укладывали в футляр из пенопласта, который помещали в холодильную камеру не менее чем на 1 ч.

Толщина клеевого слоя ФЛС (ВИАМ) составила 20–30 мкм, а ФЛС, изготовленных ООО «Универсалпром», 10 мкм. В табл. 7 представлены результаты испытаний образцов системы «ФЛС–обшивка из листа сплава Д16ч.-АТ» на сдвиг при температурах их склеивания и испытаний.

Таблица 7

**Результаты испытаний образцов системы
«ФЛС–обшивка» из листа сплава Д16ч.-АТ» на сдвиг**

Состояние поверхности листа	Клеевой слой	Прочность при сдвиге, МПа, при температуре склеивания и испытания, °С					
		-15	-10	-5	0	+5	+10
С обработкой шлифовальной шкуркой	ФЛС (ВИАМ)	0,97	0,66	1,03	0,71	0,58	0,47
	ФЛС («Универсалпром»)	0,91	0,59	0,90	0,80	0,61	0,48
С нанесением штатного ЛКП	ФЛС (ВИАМ)	0,98	0,90	1,08	0,86	0,60	0,57
	ФЛС («Универсалпром»)	1,06	0,59	1,02	1,11	0,75	0,44

В табл. 8 представлены результаты испытаний образцов системы «ФЛС–обшивка из листа сплава Д16ч.-АТ» на сдвиг при температуре 20 °С после склеивания при температурах от -15 до +20 °С. Из представленных результатов видно: отрицательные температуры при наклеивании ФЛС на ремонтируемую поверхность приводят к значительному разбросу значений прочности при сдвиге; нет закономерностей по изменению прочности при сдвиге от температуры наклеивания ФЛС.

Таблица 8

**Результаты испытаний образцов системы
«ФЛС–обшивка из листа сплава Д16ч.-АТ» на сдвиг при температуре 20 °С**

Состояние поверхности листа	Клеевой слой	Прочность при сдвиге, МПа, при температуре склеивания, °С						
		-15	-10	-5	0	+5	+10	+20
С обработкой шлифовальной шкуркой	ФЛС (ВИАМ)	0,17	0,22	0,22	0,27	0,48	0,21	0,23
	ФЛС («Универсалпром»)	0,27	0,30	0,28	0,39	0,34	0,34	0,45
С нанесением штатного ЛКП	ФЛС (ВИАМ)	0,18	0,20	0,23	0,26	0,43	0,27	0,23
	ФЛС («Универсалпром»)	0,27	0,25	0,26	0,42	0,30	0,32	0,35

Из работы [7] известно, что акустические воздействия на конструктивные элементы ВС из алюминиевых сплавов могут привести к их разрушению в результате развития усталостных трещин. Применение ФЛС в данных конструкциях способствует снижению уровня напряжений в них при эксплуатации [14, 15]. Для изучения влияния наклеенных ФЛС на уровень акустических нагрузок на обшивки из сплава Д16ч.-АТ размером 250×140 мм проведены испытания на установке, схема которой показана на рисунке.

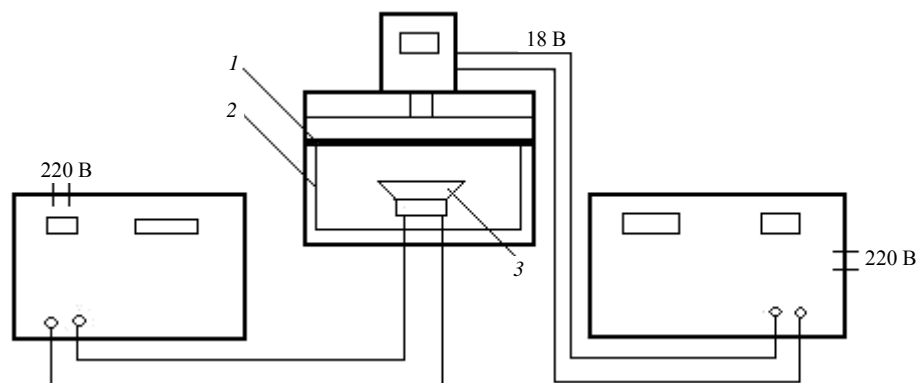


Схема установки для измерения шумоизоляции образцов с ФЛС

Образец 1 крепили по контуру на звуковой камере 2, в которой расположен источник звукового давления 3. Звуковое давление в камере при частоте $f=65$ Гц составляло 96 дБ, а свыше 65 Гц: 106 дБ. Испытания проводили следующим образом. Сначала определяли уровень звукового давления без установленного образца (L) по всем активным полосам среднегеометрических частот от 65 до 8000 Гц. Затем измеряли уровни звукового давления после каждой пластины на тех же частотах ($L_{изм}$). Шумопоглощение (ΔL) образцов определяли из значений разности: $\Delta L=L-L_{изм}$. Результаты измерений уровней звукового давления и полученные значения шумопоглощения представлены в табл. 9.

Таблица 9

Уровни звукового давления и значения шумопоглощения образцов

Тип образца	Наименование показателей	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц			
		65	250	500	8000
Д16ч.-АТ	Уровень звукового давления перед пластиной L , дБ	96	106		
Д16ч.-АТ с ФЛС					
Д16ч.-АТ	Уровень звукового давления за пластиной $L_{изм}$, дБ	89	104,5	102	78
Д16ч.-АТ с ФЛС		87	103	99,4	83
Д16ч.-АТ	Шумопоглощение L , дБ	7	0,5	3	27
Д16ч.-АТ с ФЛС		9	2	5,6	28

Полученные результаты показали, что наклейка ФЛС на испытываемый образец снижает уровень звукового давления во всем диапазоне среднегеометрических частот.

Влияние ВСС на долговечность и скорость развития трещины усталости (СРТУ) оценивали на образцах, согласно ОСТ 1.90268–77, из листа алюминиевого сплава Д16ч.-АТ толщиной 1,2 мм. Образец для наклеивания ФЛС подготавливали путем обработки поверхности нефрасом. Испытания проводили при напряжении $\sigma_b=100$ МПа и коэффициенте асимметрии $R=0,1$, частота нагружения составляла $f=10$ Гц, а длина исходной трещины $2l=10$ мм. Результаты испытаний образцов на долговечность приведены в табл. 10.

Таблица 10

Результаты испытаний образцов на долговечность

Тип образца	Начало роста трещины N_0 , кцикл	Разрушение образца N_p , кцикл
Д16ч.-АТ	27,6	65,3
Д16ч.-АТ с ВСС из одного слоя ФЛС («Универсалпром»)	41,6	76,9
Д16ч.-АТ с ВСС из трех слоев ФЛС (ВИАМ)	35,6	92

В табл. 11 представлены результаты оценки по СРТУ исходного образца и образцов с установленными стопперами.

Таблица 11

Результаты оценки по СРТУ различных образцов

Тип образца	СРТУ: $d(2l)/dN$, мм/кцикл, при ΔK , кг/мм ^{3/2}			
	40	50	60	75
Д16ч.-АТ	0,2	0,6	1,2	3,7
Д16ч.-АТ с ВСС из одного слоя ФЛС («Универсалпром»)	0,03	0,5	1,0	2,4
Д16ч.-АТ с ВСС из трех слоев ФЛС (ВИАМ)	0,15	0,4	0,8	1,7

Из приведенных результатов (табл. 10 и 11) видно: установка ВСС на образец с исходным дефектом дает преимущество как по числу циклов до разрушения, так и по величине скорости роста усталостной трещины; установка стоппера в виде трех слоев ФЛС приводит к значительному снижению СРТУ и увеличению числа циклов до разрушения. Так, для исходных образцов – $N_p=65400$ циклов, для образцов с одним слоем ФЛС – $N_p=76900$ циклов, а для образцов с тремя слоями ФЛС – $N_p=92000$ циклов. Аналогичную картину наблюдали и при оценке СРТУ. При размахе коэффициента интенсивности напряжений $\Delta K=60$ кг/мм^{3/2} СРТУ для исходных образцов составила $d(2l)/dN=1,2$ мм/кцикл; для образцов с одним слоем ФЛС: $d(2l)/dN=1,0$ мм/кцикл, а для образцов с тремя слоями ФЛС: $d(2l)/dN=0,8$ мм/кцикл. Проведенные испытания подтвердили положительное влияние структуры ВСС на СРТУ образцов из сплава Д16ч.-АТ с трещиной. Установка ВСС тормозит процесс начавшегося разрушения в обшивках конструктивных элементов ВС.

Для практического использования ФЛС в виде ВСС при восстановлении временной несущей способности конструктивных элементов ВС с зонами разрушения (трещинами, проколами и т. п.) необходимо рассчитать конструкции стоппера. За основу расчета конструкции ВСС для повышения их долговечности в возможных пределах взято следующее: для эффективной работы слоев ФЛС над трещиной обшивки (либо другим повреждением) при ее растяжении усилие сдвига клеевого соединения стоппера с обшивкой должно быть равно усилию разрыва слоев стоппера. Для предотвращения пластического деформирования стоппера над трещиной напряжения в этом месте должны быть менее предела текучести однородных материалов стоппера с количеством слоев n .

Условие равновесия усилия сдвига и растяжения в последнем случае запишется следующим образом: $P=B \cdot l \cdot \tau_{сдв}=n \cdot S \cdot \sigma_{0,2} \cdot B$, откуда длина l перекрытия трещины стоппером – половина ширины стоппера: $l = \frac{n \cdot S \cdot \sigma_{0,2}}{\tau_{сдв}}$, где B – длина стоппера; l – половина шири-

ны стоппера, мм; $\tau_{сдв}$ – предел прочности при сдвиге клеевого соединения стоппера с обшивкой, МПа; n – количество однородных слоев стоппера; S – толщина стоппера, мм; $\sigma_{0,2}$ – предел текучести металлической ленты (основы ФЛС), МПа.

Заключения

Проведенные исследования по оценке адгезионных и прочностных свойств системы «ВСС–обшивка» позволили разработать технологический процесс их установки на зоны повреждения обшивок одинарной кривизны, при котором необходимо:

- определить границы повреждения, очертить зону обработки, отступая от границы на 80–100 мм;
- очистить от грязи и обезжирить зону обработки хлопчатобумажной салфеткой, смоченной нефрасом С2-80/120 с антистатической присадкой «Сигбол»;
- осмотреть место повреждения, уточнить границы повреждения;
- выровнять неровности, скруглить острые углы повреждений шлифовальной шкуркой, очистить зону обработки от отходов и обезжирить нефрасом, выдержать до установки ФЛС 15–20 мин;
- изготовить из плотной бумаги шаблон по контуру заготовки, отступая от края 10 мм, вырезать по шаблону заготовки ФЛС;
- уложить заготовку ФЛС на поврежденную зону и прикатать ее резиновым валиком; перед укладкой последующего слоя ФЛС предыдущий слой обезжирить нефрасом (с количеством слоев до четырех); последний слой должен перекрывать торцы ранее уложенных слоев на 8–10 мм.

Данная технология ремонта с установкой ВСС позволяет техническим экипажам воздушных судов применять ФЛС в зонах различных дефектов на конструктивных элементах авиационной техники (царапин разной глубины, потертостей обшивок и ЛКП, прочеканки обшивок от контакта с агрегатами механизации крыла и вмятин разной глубины, трещин обшивок из сплава Д16ч.-АТ докритических величин, проколов, единичных повреждений заклепок, пробоин). Как показали результаты эксплуатации самолетов Ан-124-100, применение временных слоистых стопперов на основе ФЛС позволило увеличить время эксплуатации панелей с трещиной с 40 до 100 летних часов. Применение стопперов в виде органо- и стеклоткани на терморезактивном клее в сочетании с ФЛС обеспечило увеличение ресурса панелей с трещиной до 120 летних часов. Следует также отметить, что применение ВСС является наиболее дешевым и эффективным способом снижения СРТУ в обшивках и каркасах с усталостными трещинами.

Полученные в ходе исследований результаты свидетельствуют о необходимости дальнейшего развития данного направления в ремонтных технологиях авиационной техники путем совершенствования клеевых составов, способов подготовки ремонтируемой поверхности под наклейку ФЛС.

Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект & Технологии. 2016. №2. С. 41–46.
2. 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: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
3. Подживотов Н.Ю., Каблов Е.Н., Антипов В.В., Ерасов В.С., Серебренникова Н.Ю., Абдуллин М.Р., Лимонин М.В. Слоистые металлополимерные материалы в элементах конструкции воздушных судов // Перспективные материалы. 2016. №10. С. 5–19.
4. Гращенков Д.В. Стратегия развития неметаллических материалов, металлических композиционных материалов и теплозащиты // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 264–271. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-264-271.
5. Жадова Н.С., Тюменева Т.Ю., Шарова И.А., Лукина Н.Ф. Перспективные технологии для временного оперативного ремонта авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2013. №2. С. 67–70.
6. Кондрашов С.В., Шашкеев К.А., Петрова Г.Н., Мекалина И.В. Полимерные композиционные материалы конструкционного назначения с функциональными свойствами // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 405–419. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-405-419.
7. Каблов Е.Н., Минаков В.Т., Постнов В.И., Казаков И.А., Железина Г.Ф. Временные стопперы для повышения межремонтного ресурса обшивок самолета // Авиационные материалы и технологии. 2002. Вып.: Ремонтные технологии в авиастроении. С. 31–34.
8. Железина Г.Ф., Гуляев И.Н., Казаков И.А., Постнов В.И., Яппаров В.М., Ильин В.А. Опыт применения слоистых металлоорганопластиков (АЛОРОв) для ремонта обшивок планера самолета Ан-124 // Авиационные материалы и технологии. 2002. Вып.: Ремонтные технологии в авиастроении. С. 54–57.
9. Илющенко С.Ф., Шмагин И.В. Применение самоклеящейся алюминиевой фольги в конструкциях самолета // Авиационная промышленность. 1983. №10. С. 73–75.
10. Тюменева Т.Ю., Жадова Н.С., Лукина Н.Ф. Разработка ФГУП «ВИАМ» в области клеев резинотехнического назначения и самоклеящихся материалов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2014. №7. Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.12.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-4-4.

11. Клеевая композиция и самоклеящийся материал, содержащий ее: пат. 2266941 Рос. Федерация. №2003134176/04; заявл. 26.11.03; опубл. 27.12.05.
12. Лукина Н.Ф., Петрова А.П., Мухаметов Р.Р., Когтёнков А.С. Новые разработки в области клеящих материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 452–459. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-452-459.
13. Колобова З.Н., Павловская Т.Г., Аниховская Л.И., Каримова С.А. Разработка способов подготовки поверхности при ремонте клееных конструкций из алюминиевых сплавов // Авиационные материалы и технологии. 2002. Вып.: Ремонтные технологии в авиастроении. С. 73–76.
14. Лукина Н.Ф., Петрова А.П., Котова Е.В. Термостойкие клеи для изделий авиакосмической техники // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2014. №3. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.12.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-36-6.
15. Жадова Н.С., Лукина Н.Ф., Тюменева Т.Ю. Самоклеящиеся материалы для временного оперативного ремонта внешней поверхности изделий авиационной техники // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №6. С. 2–4.