



Рис. 3. Рентгеновские вакуум-плотные фольги разного диаметра с защитным покрытием и без него



Рис. 4. Бериллиевые детали с нанесенным комплексным покрытием ВЭС-5П (пассивная пленка в сочетании с силикатной эмалью)

но несколько договоров с предприятиями атомной промышленности, получено два патента.

В перспективе планируется приобретение современного прокатного оборудования, печей (вакуумных и термических) и обрабатывающего центра, которые позволят Воскресенскому филиалу ФГУП «ВИАМ» выйти на передовые позиции по выпуску вакуум-плотных бериллиевых фольг толщиной <math><150\text{ мкм}</math>, пластин, дисков, рентгеновских паяных окон с защитным покрытием и изделий из бериллия.

*В.В. АНТИПОВ, О.Г. СЕНАТОРОВА, Н.Ф. ЛУКИНА,
В.В. СИДЕЛЬНИКОВ, В.В. ШЕСТОВ*

СЛОИСТЫЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СИАЛ (стеклопластик и алюминий) – перспективный конструкционный слоистый гибридный материал, состоящий из тонких (0,3–0,5 мм) листов алюминиевых конструкционных сплавов (Al–Li сплава пониженной плотности 1441, дуралюминов 1163, Д16ч., высокопрочных сплавов В95п.ч., В95о.ч.) и прослойки пластика (0,2–0,5 мм) на основе клеевых препрегов, армированных высокопрочными стеклонеполните-

лями (рис. 1) [1–3]. Зарубежным аналогом СИАЛа является материал GLARE (GL – стекло, А – алюминий, RE – армирование), который создан и эксплуатируется на базе листов из сплава типа дуралюмина 2024-T3 (в России – аналог Д16ч.-Т).

Слоистые материалы обладают уникальным комплексом свойств по сравнению с монолитными алюминиевыми листами – высокой трещиностойкостью (сопротивление росту трещины усталости на порядок выше: $< 0,3$ мм/цикл при $\Delta K = 31$ МПа $\sqrt{м}$), пониженной плотностью – на 10–15%, высокой прочностью ($\sigma_b > 600$ МПа), а также повышенными пожаро- и ударостойкостью, достаточной коррозионной стойкостью.

Алюминиевые листы занимают в СИАЛе ~60% (объемн.) и расположены обязательно на внешней поверхности. Типичная структура СИАЛов – пятислойная 3/2 (3 алюминиевых листа + 2 прослойки стеклопластика). Прослойки пластика состоят, как правило, из нескольких монослоев однонаправленного клевого препрега; расположение и количество монослоев определяется назначением и габаритами элемента (детали) (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Разработанные типы СИАЛ (GLARE)

СИАЛ		GLARE		Направление армирующих монослоев в пластике
Марка	Al лист	Марка**	Al лист	
СИАЛ-1*	В95о.ч.-Т2	GLARE 1	7475-T76	[0°/0°] (однонаправленное)
СИАЛ-1-1* СИАЛ-1-1P**	1441-T11	GLARE 2 (GLARE 2A, GLARE 2B)	2024-T3	То же
СИАЛ-3-1* СИАЛ-3-1P**	1441-T11	GLARE 3	2024-T3	[0°/90°] (перекрестное, равнопрочное)
СИАЛ-2*, СИАЛ-2*	Д16ч.-Т, 1441-T11	GLARE 4 (GLARE 4A, GLARE 4B)	2024-T3	[0°/90°/0°] (перекрестное)
–	–	GLARE 5	2024-T3	[0°/90°/90°/0°] (перекрестное)

* Армирование стеклотканью.

** Армирование стеклоровингом.

В ВИАМ создан, запатентован и осваивается конкурентоспособный слоистый алюмостеклопластик СИАЛ на базе высокомодульного ($E = 79$ ГПа), высокотехнологичного Al–Li сплава 1441-T11 пониженной плотности – $d = 2590$ кг/м³ [4–6]*.

* В работе принимали участие И.Н. Фридляндер, В.В. Антипов, О.Г. Сенаторова, Л.И. Аниховская, Н.Ф. Лукина, В.В. Сидельников, В.И. Постнов, В.В. Шестов.

Таблица 2

**Основные свойства (типичные) равнопрочного СИАЛа
на базе листов 1441-РДТ11 и 1163-АТ**

Материал	σ_B , МПа	E , ГПа	МЦУ: N , кцикл ($\sigma_{max} = 157$ МПа; $f = 5$ Гц; $K_t = 2,5$)	dl/dN ($\Delta K = 31$ МПа $\sqrt{м}$), мм/кцикл	K_c^y , МПа $\sqrt{м}$	d , кг/м ³
СИАЛ-3-1 (на базе 1441)	600	65	140	0,15	80	2360
СИАЛ-3 (на базе 1163)	600	55	110	0,15	66	2470
1441-РДТ11	450	79	140	1,4	90	2600
1163-АТ	430	70	110	1,8	66	2780

Это позволило дополнительно на 5% уменьшить плотность (до 2350 кг/м³) и увеличить модуль упругости, повысить температуру эксплуатации СИАЛа до 120°C. По сравнению с зарубежным GLARE на базе дуралюминов, применение материала 1441-СИАЛ позволяет повысить весовую эффективность, жесткость и теплостойкость конструкции.

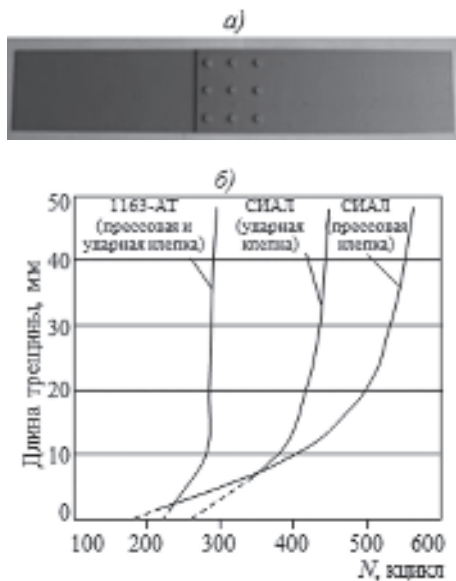


Рис. 1. Вид образца трехрядного заклепочного соединения внахлест (а) и кривые развития трещин усталости в заклепочных соединениях (б)

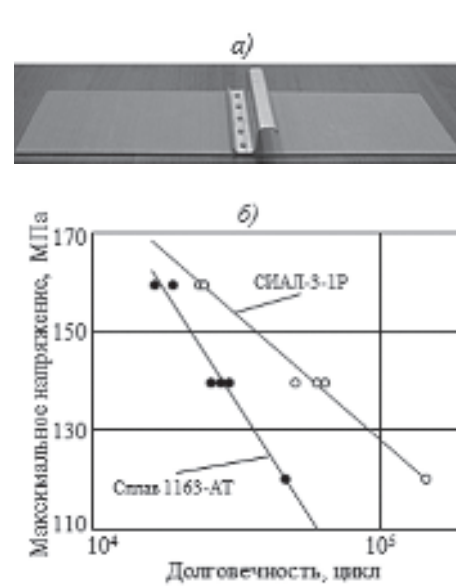


Рис. 2. Вид образца из элемента с продольным стрингером (а) и кривые усталости элементов конструкции планера (б) для материалов 1163-АТ и СИАЛ-3-1Р с заклепками, имеющими угол потая 90 град

Начиная с 2005 г. паспортизованы четыре марки СИАЛа на основе листов 1441-Т11. Все листы СИАЛа этого типа (габарит до 900×3500 мм) изготовлены для паспортизации в промышленных условиях ОАО «ВАСО» (В.А. Соловьев, П.С. Огурцов).

Совместно с ОАО «КУМЗ» разработана технология получения, изготовлены опытно-промышленные партии тонких (0,3–0,4 мм) лакированных и нелакированных листов (габарит до 1200×3500 мм) из сплава 1441-Т11 с выпуском ТР и ТУ (В.И. Попов, А.С. Ершов). Разработана технология изготовления и получены на основе теплостойкого связующего клеевые препреги, армированные однонаправленной стеклотканью и стеклоровингом. Выпущены ТР и ТУ (Н.Ф. Лукина, Л.А. Дементьева, Ю.О. Попов, Е.В. Котова).

Помимо паспортных испытаний образцов, в последние годы на ОАО «ВАСО» изготовлены, а в ВИАМ испытаны на усталость и показаны преимущества четырех видов образцов-соединений (рис. 1 и 2) и элементов конструкций (А.В. Гриневич, А.Г. Рудаков, О.В. Митраков). Также в Геленджикском центре климатических испытаний ФГУП «ВИАМ» выполнены коррозионные испытания с исследованием сорбции влаги (рис. 3) и общей коррозии (С.А. Каримова, В.Н. Головина, Т.Г. Павловская, О.В. Старцев) [7].

В 2011 г. в специализированной лаборатории АСЦ ГосНИИ ГА проведены квалификационные испытания материала СИАЛ на способность ограничивать распространение пламени. По результатам огневых стендовых испытаний установлено отсутствие сквозного прогорания образцов слоистого материала двух типов – СИАЛ-3-1-3/2 и СИАЛ-3-1-4/3, что позволяет рассматривать применение данного материала в качестве противопожарных перегородок и облицовок багажно-грузового отсека (рис. 4) [8].

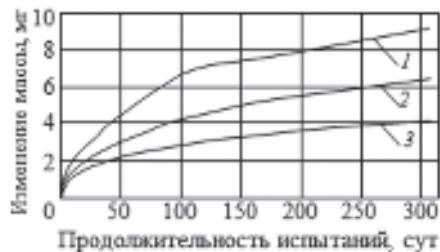


Рис. 3. Кривые сорбции на стадии увлажнения образцов из СИАЛа различных размеров: 10×100 (1), 25×25 (2) и 50×50 мм (3)

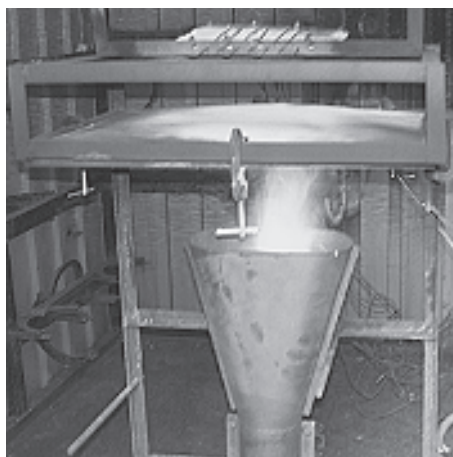


Рис. 4. Огневые стендовые испытания СИАЛа



Рис. 5. Легкий самолет-амфибия Бе-103

Компания «Airbus» широко применила материал GLARE в гражданском и транспортном самолете А-380 (экономия массы 500 кг) для обшивки фюзеляжа, хвостового оперения, соединительных лент. Совместно с фирмой «Airbus» и при участии Дельфтского университета (Нидерланды), специалистами ФГУП «ВИАМ» успешно выполнен широкий комплекс испытаний (по методике фирмы «Airbus») образцов и элементов конструкций из СИАЛ (GLARE) на базе листов 1441 [9].

Этот материал используется для молниезащитных элементов обшивки крыла самолета Бе-103 (рис. 5). Он обеспечивает повышенный ресурс и весовую эффективность перспективных российских конструкций авиационной техники и рекомендован в качестве обшивки, противопожарных перегородок, соединительных лент, поясов безопасности (стопперов). СИАЛ внесен в перечень материалов для среднемагистральных самолетов МС-21 и 204-СМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vlot A. GLARE history of the development of a new aircraft material. Kluwer Academic Publishers. 2001. 222 p.
2. Fibre Metal Laminates an introduction / Ed. by A. Vlot, J.W. Gunnink. Kluwer Academic Publishers. 2001. 527 p.
3. Фридляндер И.Н., Сенаторова О.Г., Аниховская Л.И., Сидельников В.В., Дементьева Л.А. Цветные металлы и сплавы. Машиностроение. 2001. С. 814–832.
4. Фридляндер И.Н., Сенаторова О.Г., Лукина Н.Ф., Антипов В.В. Слоистые алюмополимерные материалы СИАЛ /В сб.: «75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды “ВИАМ” 1932–2007». М.: ВИАМ. 2007. С. 188–192.
5. Beumler T., Starikov R., Gernai A., Senatorova O. Controlling the Damage with Fiber Metal Laminate Structures: First International Conference on Damage Tolerance of Aircraft Structures, TU Delft, The Netherlands. 2007. P. 914–925.
6. Сенаторова О.Г., Антипов В.В., Лукина Н.Ф., Сидельников В.В., Шестов В.В., Митраков О.В., Попов В.В., Ершов А.С. Высокопрочные, трещиностойкие, легкие алюмостеклопластики СИАЛ – перспективные материалы для авиационных конструкций // Технология легких сплавов. 2009. № 2. С. 29–31.
7. Старцев О.В., Кротов А.С., Сенаторова О.Г., Аниховская Л.И., Антипов В.В., Граценков Д.В. Сорбция и диффузия влаги в слоистых металлополимерных композиционных материалах типа СИАЛ // Материаловедение. 2011. № 12. С. 38–44.
8. Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Сидельников В.В. Исследование пожаростойкости слоистых гибридных алюмостеклопластиков класса СИАЛ // Авиационные материалы и технологии. 2011. №3. С. 36–41.
9. Antipov V.V., Senatorova O.G., Beumler T., Ijpma M. Investigation of FML New Family on the Base of Al–Li Alloy with Lower Density. ECAA, Bremen, 2011, October. P. 222–224.