

4. Крамченков Е.М. Исследование эрозионного изнашивания материалов: автореф. дис. канд. техн. наук. М. 1996. 26 с.
5. Урбанович Л.И., Крамченков Е.М., Чуносков Ю.Н. Разогрев твердого тела в зоне удара эродирующей твердой частицы //Трение и износ. 1994. Т. 15. №6. С. 965–972.
6. Кондрашов Э.К. Эрозионностойкие лакокрасочные покрытия. М.: Химия. 1989. 136 с.
7. Бодрышев В.В. Удельная энергия разрушения как определяющий параметр эрозионной стойкости материала //Известия вузов. 1978. №2. С. 133–137.
8. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Албагачиев А.Ю. Изнашивание при ударе. М.: Машиностроение. 1982. 192 с.

УДК 669.715+678.034

В.В. Антипов, О.Г. Сенаторова, В.В. Сидельников

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРОСТОЙКОСТИ СЛОИСТЫХ ГИБРИДНЫХ АЛЮМОСТЕКЛОПЛАСТИКОВ КЛАССА СИАЛ

Приведены результаты испытаний на пожаростойкость (сопротивление распространению пламени) слоистых алюмокомпозитов класса СИАЛ различной структуры и состава (прежде всего на базе листов Al–Li сплава 1441). Испытания образцов с размером рабочей зоны 200×200 мм на лабораторных установках при воздействии пламени газовой горелки показали, что СИАЛы позволяют (по сравнению с монолитными листами из алюминиевых сплавов) на порядок (с ~1,5 до 15 мин при 1100°С) увеличить время сопротивления распространению пламени, сохранить жесткость конструкции и тем самым увеличить время эвакуации пассажиров из самолета. Установлен механизм противодействия разрушению СИАЛов при воздействии пламени. Результаты испытаний также показали, что СИАЛы (GLARE) возможно использовать в качестве пожаростойких перегородок.

Ключевые слова: *пламя, температура, продолжительность прогорания, газовая горелка.*

СИАЛы (Стеклопластик **И** АЛюминий) – класс перспективных конструктивных слоистых гибридных материалов, состоящих из тонких (0,3–0,5 мм) листов алюминиевых конструктивных сплавов (Al–Li сплава пониженной плотности 1441, дуралюминов 1163, Д16ч., высокопрочных сплавов В95п.ч./о.ч.) и прослоек (0,2–0,5 мм) пластика на основе клеевых препрегов, армированных высокопрочными стеклонеполнителями. Зарубежным аналогом является материал GLARE (GL – стекло, А – алюминий, RE – армирование), который эффективно использован в качестве обшивки фюзеляжа самого большого самолета А-380 компании «Airbus» [1, 2].

СИАЛы имеют преимущества по сравнению с монолитными алюминиевыми листами: высокую трещиностойкость (на порядок выше сопротивление росту трещины усталости: $<0,3$ мм/цикл при $\Delta K=31$ МПа $\sqrt{м}$), пониженную плотность (2,35–2,5 г/см³) – на 10–15%, высокую прочность ($\sigma_b >600$ МПа), обладают уникальным комплексом других характеристик – высокими пожаростойкостью, коррозионной стойкостью и ударостойкостью. В результате повышаются живучесть, ресурс и весовая эффективность конструкций [1, 4].

Сопротивление распространению пламени особенно важно для больших широкофюзеляжных самолетов, пассажиры которых должны покинуть самолет в течение 90 с в случае пожароопасной ситуации [1, 3].

Как показывает анализ, СИАЛы способны существенно повысить сопротивление распространению пламени при пожаре (по сравнению с монолитными листами из алюминиевых сплавов) ввиду особенностей своей слоистой структуры и состава.

Для оценки пожаростойкости (огнестойкости) СИАЛов проведены две серии испытаний горизонтально расположенных листовых образцов размером 220×220 мм (размер рабочей зоны: ~200×200 мм) на лабораторных установках при одностороннем воздействии открытого пламени газовой горелки (рис. 1, а) и в закрытой камере (рис 1, б).

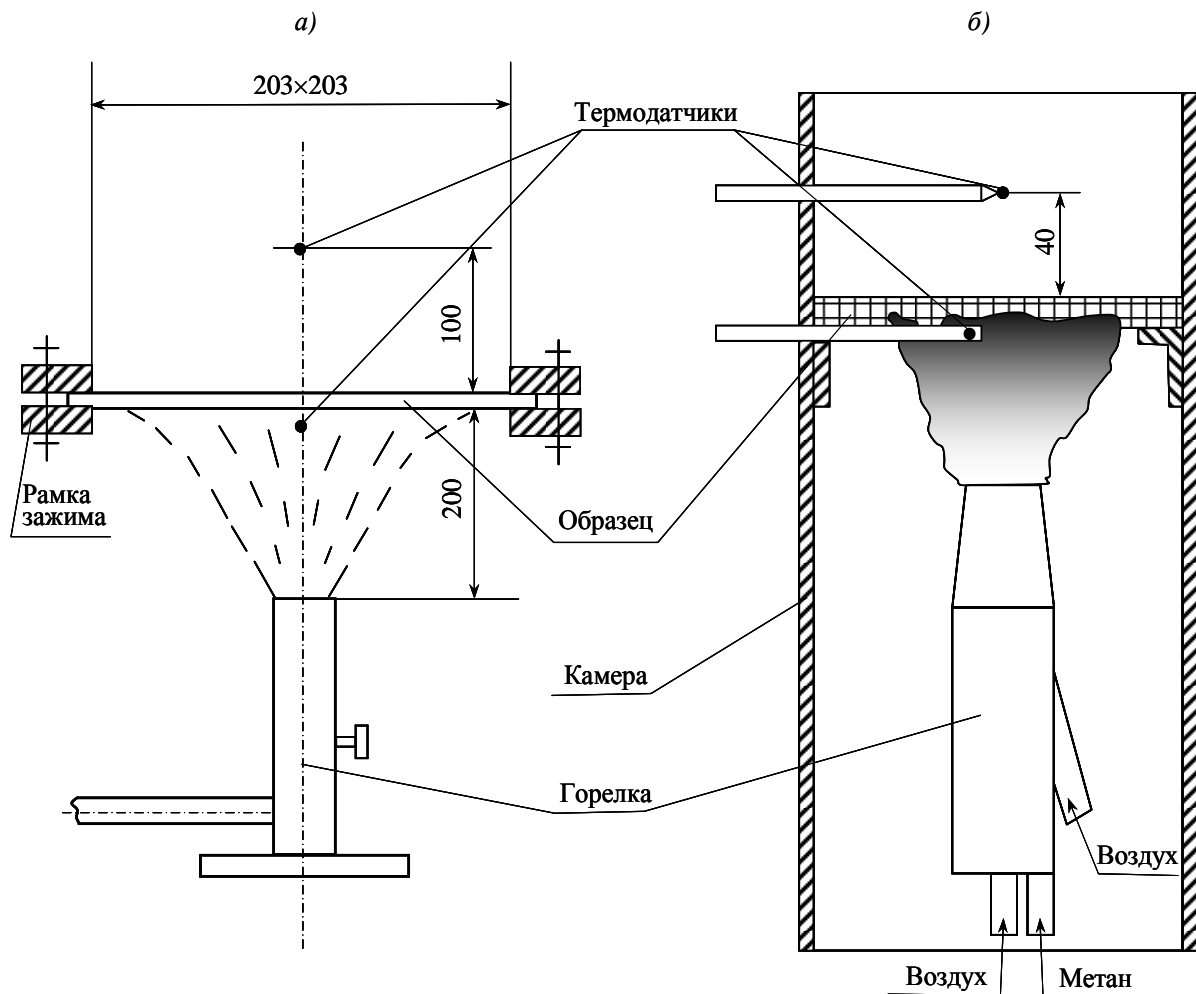


Рис. 1. Схемы установок для испытания листовых образцов на пожаростойкость при одностороннем воздействии пламени:

а – открытое пламя; б – в закрытой камере

Процедура проведения испытаний* и критерии оценки работоспособности материалов выполнялись с учетом требований Авиационных правил. Сквозное прогорание образцов регистрировалось визуально, кроме того, фиксировались температура над поверхностью образца, расслоения, дымовыделение, искривление и т. д.

* В испытаниях принимали участие С.Л. Барботько, В.И. Постнов.

Исследовалось шесть типов структур СИАЛов (толщиной 1,1–2,4 мм) на базе листов сплавов 1441-РДТ11, Д16ч.-АТ и клевого препрега, армированного стекловолокнами ВМП при различной ориентации и количестве монослоев (табл. 1).

Таблица 1

Структура и результаты испытаний на жаростойкость исследованных СИАЛов на базе листов сплава 1441

Марка материала	Структура СИАЛа		Условия испытаний	
	Al лист/слой стеклопластика	Ориентация слоев препрега в слое стеклопластика	950°C, 15 мин	1100°C
СИАЛ-1-1	2/1	[0°/0°]	Отсутствует сквозное прогорание	–
СИАЛ-2-1	2/1	[0°/90°/0°]		15 мин (сквозное прогорание)
СИАЛ-3-1	3/2	[0°/90°]		30 мин (сквозное прогорание)
СИАЛ-2-1	3/2	[0°/90°/0°]		60 мин (сквозное прогорание отсутствует)
СИАЛ-5-1	3/2	[0°/90°/0°/90°]		
СИАЛ-3-1	4/3	[0°/90°]		
Д16ч.-АТ, 1441-РДТ11	До 2 мм	–	Сквозное прогорание до 2 мин	–

Установлено и подтверждено, что алюминиевые листы толщиной 1–2 мм (обычно используемые для обшивок фюзеляжа) прогорают насквозь быстро – через 1,5–2 мин (рис. 2).

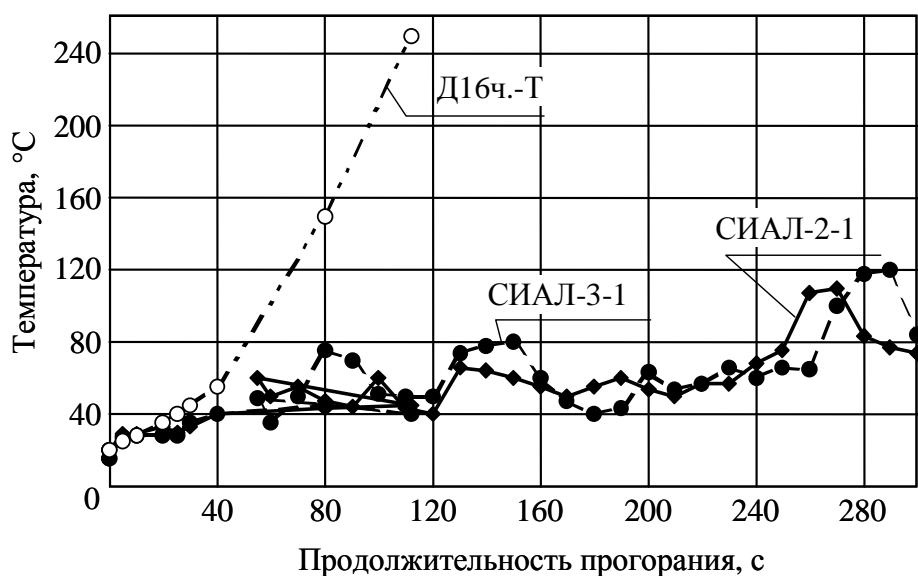


Рис. 2. Изменение температуры на расстоянии 100 мм от листов из СИАЛов и сплава Д16ч.-Т со стороны, противоположной пламени

У всех типов структур СИАЛов отсутствовало сквозное прогорание при воздействии пламени с температурой 950°C в течение 15 мин, однако наблюдалось прогорание первого алюминиевого листа и двух монослоев первого слоя стеклопластика со стороны пламени.

Сквозное прогорание отсутствовало также при температуре 1100°C при увеличении многослойности материала со структурой 4/3 (до семи слоев) и количества монослоев (до четырех) в слое стеклопластика.

Как показали исследования, листы СИАЛов обладают высокими теплозащитными свойствами: со стороны, противоположной пламени, на расстоянии 100 мм температура воздуха остается сравнительно низкой (не выше 120°C) в течение 5 мин (см. рис. 2).

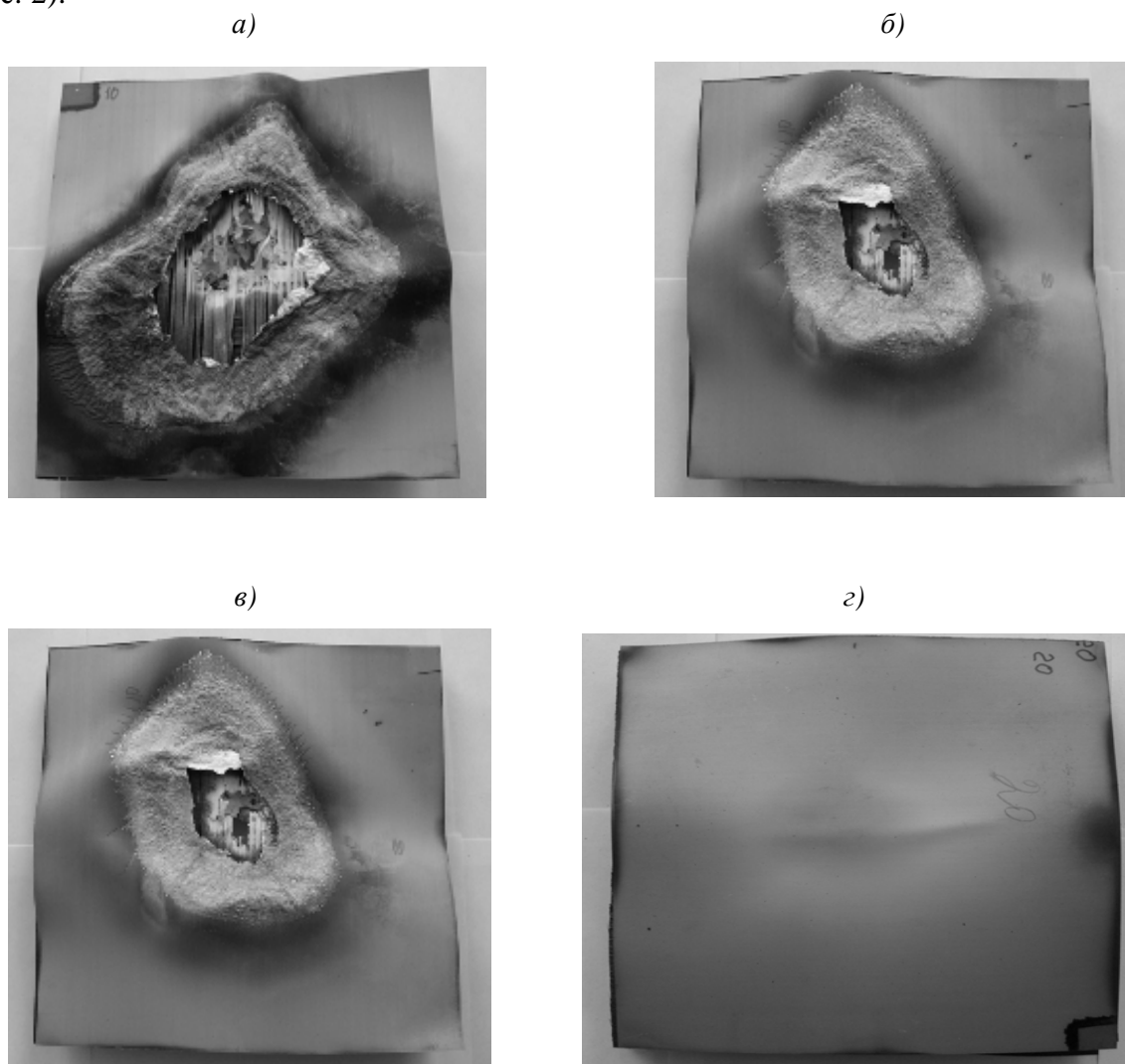


Рис. 3. Вид образцов (со структурой 3/2) с двух сторон после воздействия пламени при 1100°C в течение 30 мин на материалы СИАЛ-3-1 [0°/90°] со сквозным прогоранием (а, б) и СИАЛ-2-1 [0°/90°/0°] с односторонним прогоранием (в) и отсутствием прогорания со стороны, противоположной пламени (з)

На основании анализа характера разрушения, установлен следующий механизм противодействия разрушению СИАЛов. Тонкие алюминиевые листы (0,3–0,5 мм) в составе СИАЛа (независимо от сплава) прогорают через ~15 с (как известно, алюминий имеет температуру плавления ~700°C). Расположенные за алюминиевыми листами

слои пластика, в состав которых входят армирующие стеклянные (жаропрочные) волокна с температурой плавления $\sim 1700^{\circ}\text{C}$, что выше температуры пламени (1100°C), – создают барьер огню. При этом эпоксидная матрица слоя пластика подвергается термодеструкции (температура коксования $300\text{--}350^{\circ}\text{C}$), вызывая образование газообразных продуктов (дымовыделение – до 3 мин) и практически полное расслоение материала, что позволяет проходить воздуху через промежуточные слои и действовать как дополнительный изолирующий эффект от потока пламени. Поэтому сквозного прогорания СИАЛа не происходит (рис. 3), так как распространению пламени противодействуют два фактора – наличие стекловолокон и расслоение материала.

Данные о повышенной жаростойкости СИАЛов (Россия) близки к значениям показателей по жаростойкости аналогичных материалов, созданных компаниями «Airbus» (рис. 4) и «Boing» [1–3] (табл. 2).

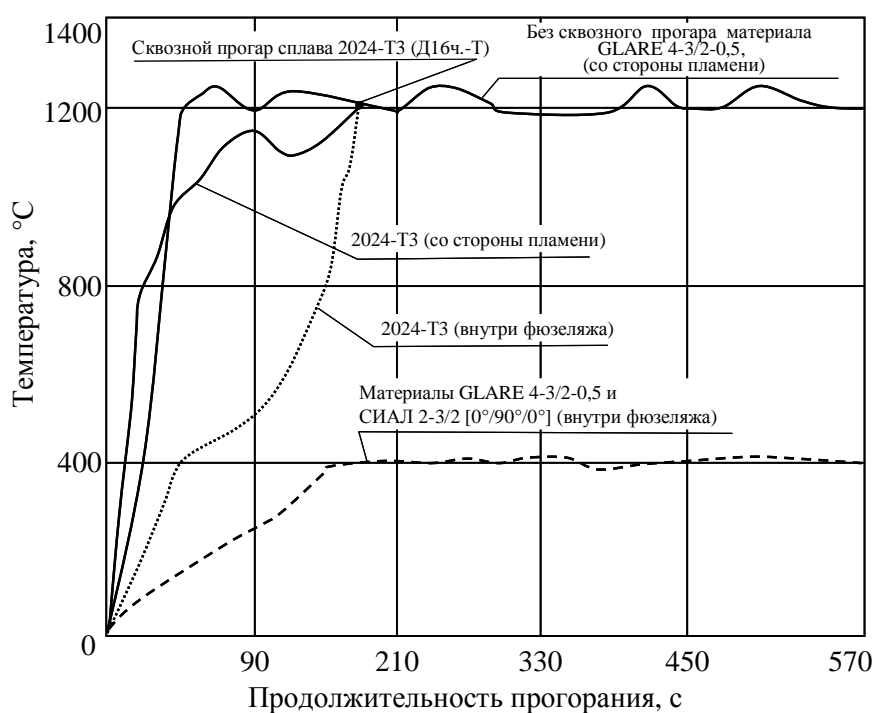


Рис. 4. Изменение температуры на наружной и внутренней стороне фюзеляжа из различных материалов при огневых испытаниях (по данным компании «Airbus»).

Таблица 2

Сравнительные результаты испытаний на жаростойкость материалов компании «Boing»

Марка материала		Условия испытаний	Значения показателей на стороне, противоположной пламени	
Европа, США	Россия		Температура, $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность прогорания, мин
GLARE 3-2/1	СИАЛ 3-2/1	$1100^{\pm 25}^{\circ}\text{C}$ в течение 15 мин, (без прогорания)	220	5
GLARE 3-3/2	СИАЛ 3-3/2		160	5
GLARE 4-2/1	СИАЛ 5-2/1		215	10
Монолитный лист (1,5–2 мм) из алюминиевого сплава		$1100^{\pm 25}^{\circ}\text{C}$	Сквозное прогорание	1,5
2024-T3	Д16ч.-Т			

Таким образом, слоистые СИАЛы, в том числе на базе листов Al–Li сплава 1441, обладают повышенной жаростойкостью по сравнению с монолитными алюминиевыми листами и позволяют на порядок (с ~1,5 до 15 мин) увеличить продолжительность проникновения пламени, сохранить структурную жесткость конструкции и тем самым увеличить время эвакуации пассажиров из самолета. Результаты испытаний также показали, что СИАЛы (GLARE) возможно использовать в качестве жаростойких перегородок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Roebroeks G.H.J.J. GLARE: a structural material for fire resistant fuselages. AGARD Conference Proceedings. October 1996. P. 26-1–26-13.
2. Hoijmeijer P.A. Burn-through and lightning strike in «Fibre-Metal Laminates», Klun-ner Academic Publishers. 2001. P. 399–408.
3. Characterisation of Fibre Metal Laminates under Thermo-mechanical Loadings, Ed. By Michiel HAGENBEEK. Netherlands. 2005. P 17–22.
4. Постнов В.И., Постнова М.В., Казаков И.А., Абрамов П.А. Особенности контурной обработки резанием листовых заготовок МПКМ в серийном производстве. Авиационные материалы и технологии. 2009. №4. С. 3–8.