



УДК 669.715+678.034

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРОСТОЙКОСТИ СЛОИСТЫХ
ГИБРИДНЫХ АЛЮМОСТЕКЛОПЛАСТИКОВ КЛАССА
СИАЛ**

В.В. Антипов

кандидат технических наук

О.Г. Сенаторова

кандидат технических наук

В.В. Сидельников

Март 2013

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Первая публикация статьи - в журнале «Авиационные материалы и технологии», №3, 2011 г.

Данная редакция (дополненная, переработанная) подготовлена для опубликования в журнале «Труды ВИАМ», №3, 2013 г.

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 алюмопластиков 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.*

V.V. Antipov, O.G. Senatorova, V.V. Sidelnikov

INVESTIGATION OF FIRE RESISTANCE OF HYBRID ALUMINIUM-GLASSPLASTIC SIAL LAMINATES

The results of fire resistance tests (resistance to propagation of flame) of SIAL-type aluminium-glassplastic Laminates of various structure and composition (in the first turn, on a base of 1441 Al–Li alloy sheets) are presented. Tests of specimens, having 200×200 mm working area on laboratory set ups under the influence of gas fire, showed, that SIAL allow (in comparison with monolithic sheets of aluminum alloys) to increase the time of burn-through by the order (from 1,5 min to 15 min at 1100°С), to preserve a rigidity of structure and thus to increase the time of evacuation passengers from an aircraft. The mechanism of counteraction to fracture of SIALs under influence

of flame was established. The results of tests have also shown, that SIAL (GLARE) may be used as firewall applications.

Key words: *flame, temperature, time, burn-through, gas set up.*

СИАЛы (Стеклопластик **И** АЛюминий) – класс перспективных конструкционных слоистых гибридных материалов, состоящих из тонких (0,3–0,5 мм) листов алюминиевых конструкционных 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 стеклонаполнителями. Зарубежным аналогом является материал GLARE (**GL** – стекло, **A** – алюминий, **RE** – армирование), который эффективно использован в качестве обшивки фюзеляжа самого большого самолета А-380 компании «Airbus» [1-4].

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 $\sqrt{\text{м}}$), пониженную плотность (2,35–2,5 г/см³) – на 10–15%, высокую прочность ($\sigma_b >600$ МПа), обладают уникальным комплексом других характеристик – высокими жаростойкостью, коррозионной стойкостью и ударостойкостью. В результате повышаются живучесть, ресурс и весовая эффективность конструкций [1, 5–8].

В ВИАМ создан, запатентован и осваивается конкурентноспособный слоистый алюмопластик СИАЛ на базе высокомодульного ($E=79$ ГПа), высокотехнологичного Al–Li сплава 1441Т11 пониженной плотности – $d=2590$ кг/м³ [9, 10].

Сопротивление распространению пламени особенно важно для больших широкофюзеляжных самолетов, пассажиры которых должны покинуть самолет в течение 90 с в случае пожароопасной ситуации [1, 11, 12].

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 жаростойкости (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).

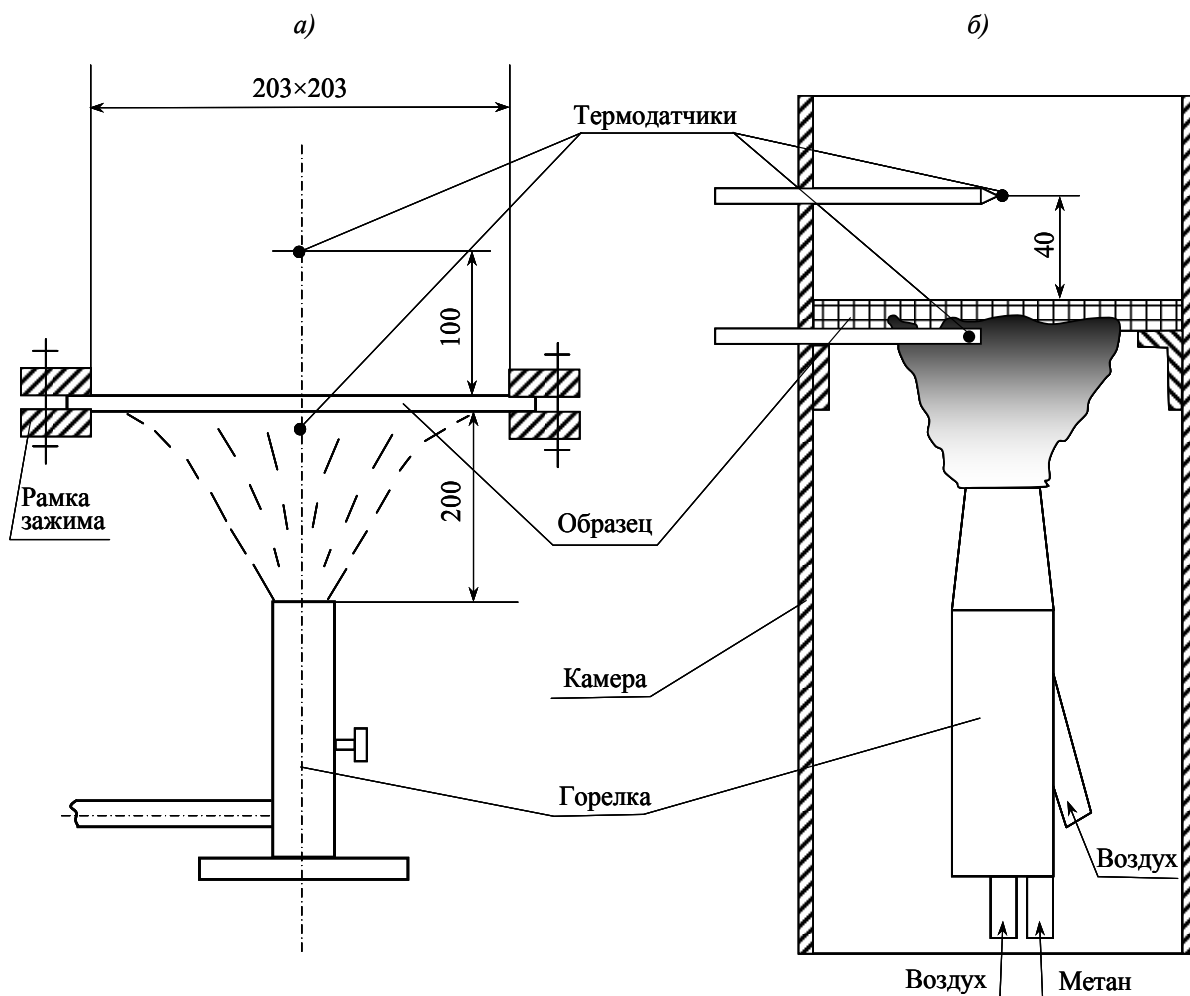


Рис. 1. Схемы установок для испытания листовых образцов на пожаростойкость при одностороннем воздействии пламени:
a – открытое пламя; *б* – в закрытой камере

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.

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).

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

Структура и результаты испытаний на пожаростойкость 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).

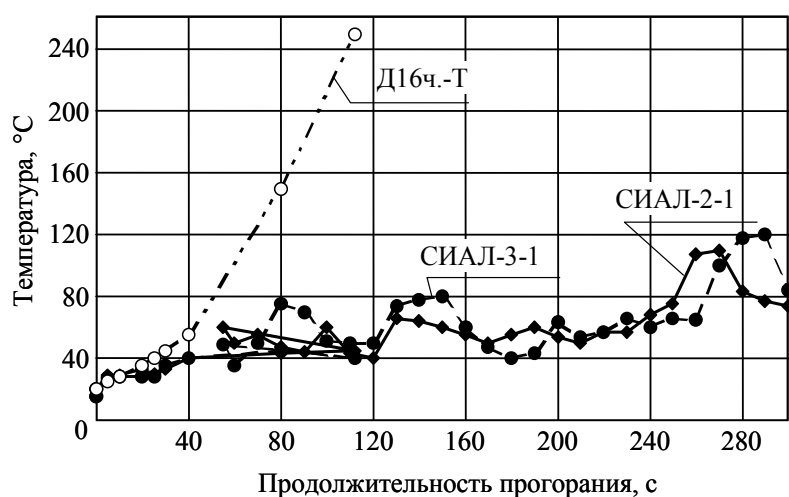


Рис. 2. Изменение температуры на расстоянии 100 мм от листов из СИАЛов и сплава Д16ч.-Т со стороны, противоположной пламени

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).

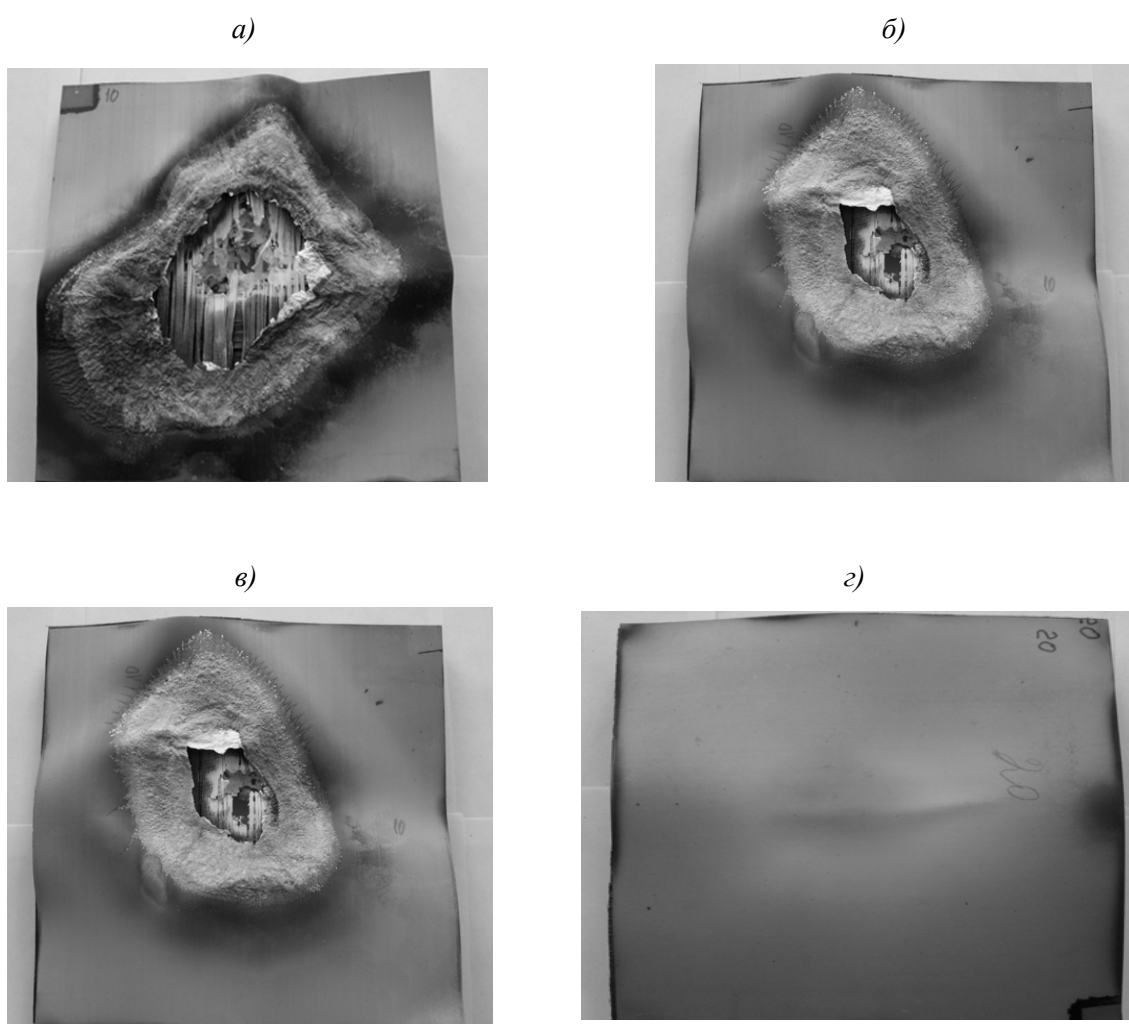


Рис. 3. Вид образцов (со структурой 3/2) с двух сторон после воздействия пламени при 1100°C в течение 30 мин на материалы СИАЛ-3-1 [0°/90°] со сквозным прогоранием (а, б) и СИАЛ-2-1 [0°/90°/0°] с односторонним прогоранием (в) и отсутствием прогорания со стороны, противоположной пламени (з)

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 ~1700°C, что выше температуры пламени (1100°C), – создают барьер огню. При этом эпоксидная матрица слоя пластика подвергается термодеструкции (температура коксования 300–350°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 пожаростойкости СИАЛов (Россия) близки к значениям показателей по пожаростойкости аналогичных материалов, созданных компаниями «Airbus» (рис. 4) и «Boing» [1–3] (табл. 2).

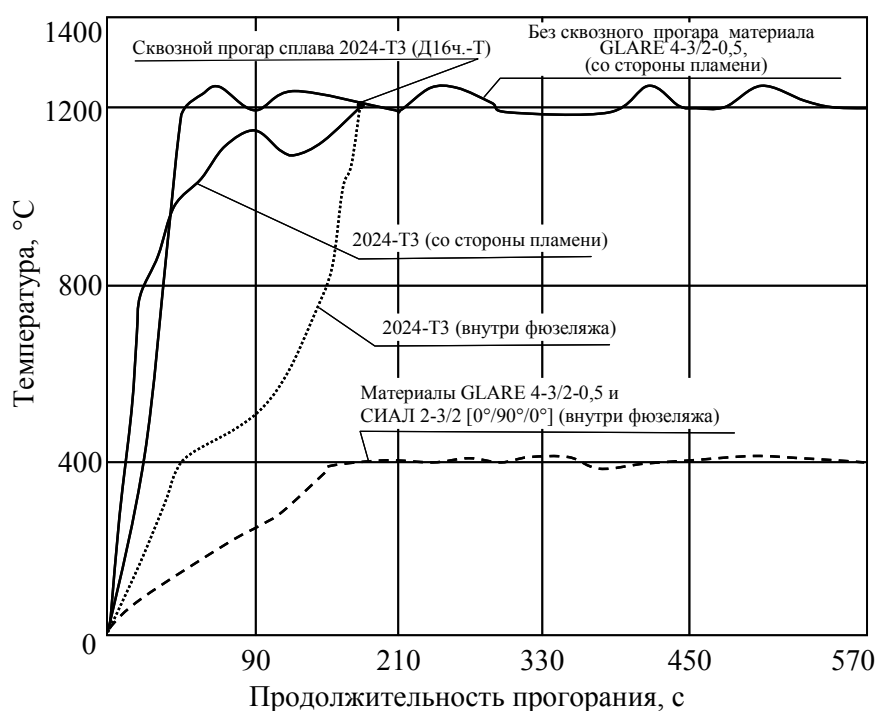


Рис. 4. Изменение температуры на наружной и внутренней стороне фюзеляжа из различных материалов при огневых испытаниях (по данным компании «Airbus»).

**Сравнительные результаты испытаний на жаростойкость материалов компании
«Boeing»**

Марка материала		Условия испытаний	Значения показателей на стороне, противоположной пламени	
Европа, США	Россия		Температура, °С	Продолжительность прогорания, мин
GLARE 3-2/1	СИАЛ 3-2/1	1100 ^{±25} °С 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 ^{±25} °С	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 /In: AGARD Conference Proceedings. October 1996. P. 26–1; 26–13.
2. Vlot A. Glare history of development of a new aircraft material /In: Kluwer Academic Publishers. 2001. P. 222.
3. Fibre Metal Laminates an introduction. Ed. by A. Vlot, J.W. Grunnink /In: Kluwer Academic Publishers. 2001. P. 527.
4. Hoijimeijer P.A. Burn-through and lightning strike in «Fibre-Metal Laminates» /In: Kluwer Academic Publishers. 2001. P. 399–408.
5. Старцев О.В., Кротов А.С., Сенаторова О.Г., Аниховская Л.И., Антипов В.В., Гращенко Д.В., Сорбция и диффузия влаги в слоистых металлополимерных композиционных материалах типа СИАЛ //Материаловедение. 2011. №12. С. 38–44.
6. Fridlyander I.F., Senatorova O.G., Antipov V.V., Sidelnikov V.V., Lukina N.F., Mitrakov O.V., Lavro N.A. High-Manufacturable Al–Li 1441 Alloy and Fibre-Metal Laminates (FML) on its Basis /In: Summary of Conference Proceedings „Aluminium of Two Thousand”, Italy. 2007. P. 22.
7. 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.
8. 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.
9. Beumler T., Starikov R., 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.
10. Сенаторова О.Г, Антипов В.В., Лукина Н.Ф., Сидельников В.В., Шестов В.В., Митраков О.В., Попов В.И., Ершов А.С. Высокопрочные трещиностойкие легкие слоистые алюмокомпозиты класса СИАЛ – перспективный материал для авиационных конструкций //Технология легких сплавов. 2009. №2. С. 28–31.
11. Characterisation of Fibre Metal Laminates under Thermo-mechanical Loadings: Ed. M. Hagenbeek. Netherlands. 2005. P. 17–22.
12. Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Лукина Н.Ф., Сидельников В.В., Шестов В.В. Слоистые металлополимерные композиционные материалы /В сб.: Авиационные

- материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М.: ВИАМ. 2012. С. 226–230.
13. В.И. Постнов, О.Г. Сенаторова, С.А. Каримова, Т.Г. Павловская, Г.Ф. Железина, И.А. Казаков, П.А. Абрамов, М.В. Постнова, О.Е. Котов. Особенности формования крупногабаритных листов металлополимерных КМ, их структура и свойства //Авиационные материалы и технологии. 2009. № 4. С. 23-32.
 14. В.В. Антипов. Стратегия развития титановых, магниевых, бериллиевых и алюминиевых сплавов /В сб. Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М.: ВИАМ. 2012. С. 157-167.
 15. Е.Н. Каблов. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года /В сб. Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М.: ВИАМ. 2012. С. 7-17.