

Утверждаю

Технический директор

ПАО "ВАСО"

Ярчевский А.Б.



ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Антипова Владислава Валерьевича "Научно-технологические основы разработки слоистых алюмокомпозитов нового поколения с варьруемыми физико-механическими свойствами на основе листов из алюминий-литиевых сплавов пониженной плотности", представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09- «Материаловедение (машиностроение)»

Одним из направлений совершенствования авиационной техники является применение материалов с пониженной плотностью и улучшенными служебными характеристиками. В последние годы для дополнительного снижения массы и повышения ресурсных характеристик авиационных конструкций ведутся работы по созданию слоистых металлополимерных композиционных материалов (МПКМ) с пониженной плотностью, которые сочетают в себе свойства листов из алюминиевых сплавов и полимерных составляющих, армированных высокопрочными высокомодульными волокнами (арамидными, углеродными, стеклянными).

По комплексу свойств наиболее перспективными среди МПКМ являются слоистые алюмокомпозиты СИАЛ, позволяющие обеспечить высокую весовую эффективность, повышенные характеристики трещиностойкости и безопасности при эксплуатации, в сочетании с более низкой стоимостью и повышенной технологичностью при изготовлении, отвечающие необходимым конструктивно-технологическим требованиям при применении их в изделиях авиационной техники.

В связи с этим рассматриваемая диссертационная работа, направленная на разработку научно-технологических основ получения и создание слоистых алюмокомпозитов нового поколения с улучшенными физико-механическими свойствами на основе листов из алюминий-литиевых сплавов пониженной плотности для авиационной техники, является актуальной.

Научная новизна работы заключается в следующем.

Разработаны научно-технологические основы получения и созданы слоистые алюмокомпозиты СИАЛ нового поколения на основе листов из алюминий-литиевых сплавов и

клеевых препрегов с ровингом, обладающие пониженной на 8-10 % плотностью, повышенными на 9-11 % модулем упругости, на 12-16 % удельной прочностью и рабочей температурой до 120 °С по сравнению с алюмокомпозитами на основе листов из дуралюминов.

Установлены особенности формирования структурно-фазового состояния в слитках и листах из алюминий-литиевого сплава 1441 в зависимости от режимов термической обработки, определены оптимальные технологические параметры, обеспечивающие получение методом холодной рулонной прокатки тонких листов толщиной 0,25 мм с требуемым для применения в СИАЛ уровнем механических и коррозионных свойств.

Показано, что при плотности распределения сферических композиционных частиц дисперсоидов (β' -фаза с оболочкой из δ' -фазы) не более $6,0 \cdot 10^{10}$ 1/мм³ при минимальном (менее 1 %) содержании первичных эвтектических фаз в слитке, достигаемых после двухступенчатой гомогенизации в интервале температур 400-530 °С, обеспечивается максимальная пластичность и низкое сопротивление деформации слитков из сплава 1441 с массовыми соотношениями основных легирующих элементов: Cu/Li \approx 1 (0,8-1,1); Mg/Li \approx 0,5 (0,35-0,6).

Обнаружено различие состава дисперсоида в литой и деформированной структуре сплава 1441: в гомогенизированных слитках в состав β' -фазы входят Al и Zr, а в деформированных листах - Al, Zr и Ti, причем соотношение атомов Zr:Ti в частицах может составлять от 1:1 до 3:1.

Установлено, что обеднение твердого раствора сплава 1441 магнием (от 0,8 до 0,22 % (по массе)) и медью (от 1,5 до 0,01 % (по массе)) за счет выделения р процессе медленного охлаждения с температуры смягчающего отжига 420-440 °С частиц S-фазы (Al₂CuMg), преимущественно глобулярной формы со средним размером 0,5 мкм, приводит к возрастанию технологической пластичности, снижению сопротивления и повышению однородности деформации, что обеспечивает получение методом холодной рулонной прокатки листов толщиной до 0,25 мм.

Установлена взаимосвязь между характером распределения упрочняющих частиц S- и S'-фаз в структуре искусственно состаренных листов из сплава 1441 и их коррозионными свойствами. Снижение склонности к расслаивающей коррозии листов из сплава 1441 обусловлено формированием в процессе трехступенчатого режима старения частиц S'-фазы, закрепляющих дислокации в объеме зерен, дискретных глобулярных частиц S-фазы размером 100-300 нм на границах зерен, что способствует уменьшению электрохимической гетерогенности и снижению концентрации напряжений на границах зерен.

Разработана математическая модель расчета механических характеристик слоистых алюмокомпозитов с учетом остаточных напряжений по границам слоев материалов с разными свойствами в структуре СИАЛ со сходимостью с экспериментальными данными 85-

90 %.

Установлено, что огнестойкость слоистых алюмокомпозитов обусловлена применением клеящего ВСК-14МР и армирующего наполнителя в виде стеклореза в полимерных слоях алюмокомпозитов, которые создают условия для возникновения абляционного эффекта за счет образования парогазовых продуктов и коксования слоев в процессе термодеструкции, что сдерживает прогорание СИАЛ при воздействии пламени с температурой 1100 °С в течение более 15 мин.

Практическая значимость работы.

Разработаны и внедрены на самолетостроительном предприятии ПАО «ВАСО» при производстве натуральных образцов технологии автоклавного формования алюмокомпозитов СИАЛ нового поколения, а также гибридных конструкций с использованием СИАЛ на основе полуфабрикатов из алюминий-литиевых сплавов 1441 и В-1469.

Разработаны и внедрены на ОАО «КУМЗ» режим двухступенчатой гомогенизации слитков алюминий-литиевого сплава 1441, повышающий пластичность материала при изготовлении методом рулонной прокатки листов толщиной 0,25 мм, и режим упрочняющей термической обработки (трехступенчатый режим старения) для применения тонких листов в структуре алюмокомпозитов.

Уточнен химический состав комбинированного электролита для подготовки поверхности листов из алюминий-литиевых сплавов методом анодного оксидирования, применение которого исключает использование в растворах токсичных соединений Cr^{6+} и обеспечивает повышение в 1,5 раза коррозионной стойкости и на 8-14 % адгезионных характеристик соединений листов и композитов.

Внедрено клеящее связующее с повышенными деформационными, теплопрочностными характеристиками и пониженной динамической вязкостью, которое обеспечивает равномерную пропитку стеклонеполнителя и позволяет исключить процесс нанесения клеящей пленки между слоями СИАЛ, применяемый при изготовлении алюмокомпозитов за рубежом.

Подтверждена комплексом испытаний эффективность применения слоистых алюмокомпозитов СИАЛ в пожароопасных зонах, что обусловлено увеличением в 10-15 раз времени прогорания конструкции при пожаре, по сравнению с листами из алюминиевых сплавов, поскольку огнестойкость СИАЛ при 1100 °С составляет не менее 15 мин, а также улучшением молниестойкости.

Применение разработанных СИАЛ марок СИАЛ-1-1Р, СИАЛ-3-1Р и гибридных конструкций на их основе обеспечило снижение массы на 9-15 %, а также повышение:

- трещиностойкости в 10 раз по сравнению с традиционными алюминиевыми сплавами;
- усталостной долговечности панели с обшивкой из СИАЛ в 2 раза по сравнению с па-

нелю фюзеляжа из сплава 1163Т;

несущей способности при сжатии панели с обшивкой из СИАЛ на 20 % по сравнению с панелью центроплана из сплава В95очТ2, что подтверждено испытаниями конструктивно-подобных образцов.

Разработана нормативная документация на изготовление, поставку, применение и конструирование деталей из слоистых алюмостеклопластиков, методики испытаний стандартных и конструктивно-подобных образцов (ТУ - 7 шт., ТР - 18 шт., ТИ - 3 шт., ММ - 1 шт., СТО - 1 шт.).

В тоже время есть некоторые замечания.

В автореферате приводятся данные по малоцикловой усталости, однако нет сведений по сопротивляемости СИАЛ многоцикловой усталости, хотя известно, что в процессе эксплуатации элементы конструкции испытывают нагрузки и такого рода.

Указанное замечание не снижает общей положительной оценки диссертационной работы.

В целом представленная работа по своей актуальности, практической ценности и научной новизне отвечает требованиям ВАК к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Антипов Владислав Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09-«Материаловедение (машиностроение)».

Согласны на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку наших персональных данных, необходимых для защиты диссертации Антипова В.В.

Зам. технического директор

Абрамов Игорь Вячеславович

Главный технолог

Кузнецов Максим Вячеславович

Главный металлург
доктор техн. наук, профессор

Коломенский Александр
Борисович

25.02.2021

Публичное акционерное общество» (ПАО «ВАСО»).

ронезское акционерное самолётостроительное

Почтовый адрес: 394029,

г. Циолковского, 27.

e-mail: admin@air.vrn.ru

Тел.+7 (473) 249-93-53.