



УДК 669.018.95

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-10-4-4

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ
СПЛАВОВ В СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛАХ**

А.А. Арисланов

Л.Ю. Гончарова

Н.А. Ночовная

доктор технических наук

В.А. Гончаров

Октябрь 2015

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.

УДК 669.018.95

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-10-4-4

А.А. Арисланов¹, Л.Ю. Гончарова¹, Н.А. Ночовная¹, В.А. Гончаров¹

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ В СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Показаны перспективы применения титановых сплавов для создания нового класса слоистых металлополимеров. Приведено сравнение свойств композитов на основе титана с материалами на основе алюминия и стеклопластика. Полученные результаты исследований в области гибридных материалов позволяют говорить об эффективности использования в современных конструкциях слоистых металлополимеров. Внимание акцентировано также на высоких удельных свойствах гибридных материалов на основе титановых сплавов. Такие слоистые композиционные материалы сочетают в себе высокую прочность и трещиностойкость.

Ключевые слова: *титановые сплавы, металлополимеры, слоистые композиты, коррозия.*

A.A. Arislanov, L.J. Goncharova, N.A. Nochovnaya, V.A. Goncharov

PROSPECTS FOR THE USE OF TITANIUM ALLOYS IN LAMINATED COMPOSITE MATERIALS

Prospects for application of titanium alloys for creation of new class of laminated metal-polymers are shown. Comparison of properties of composite materials based on titanium with composite materials based on aluminum and glass plastic is given. The results of research in the field of hybrid materials allow speaking about the effectiveness of use of laminated metal-polymers in modern structures. Special attention is focused on high specific properties of hybrid materials based on titanium alloys. Such laminated composite materials combine high strength and fracture toughness.

Keywords: *titanium alloys, metal-polymers, laminated composites, corrosion.*

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

Титан и сплавы на его основе обладают высокими коррозионной стойкостью и прочностью в сочетании с малой плотностью и широко используются в авиации, космической технике, судостроении, строительстве и медицине [1–3].

В настоящее время одним из наиболее актуальных направлений применения титановых сплавов является изготовление на их основе слоистых композиционных материалов.

Как правило, композиционный материал создается для выполнения определенных задач, и для обеспечения заданной конструкционной прочности конкретной детали необходимо получить характеристики композита, значительно превосходящие в некоторых аспектах свойства традиционных материалов [4–8].

Материалы и методы

Сплавы для металлополимеров

В настоящее время важнейшим этапом при выборе композиционного материала является определение комплекса необходимых свойств, обеспечивающих надежную и долговечную работу конструкций, машин и оборудования в заданных условиях эксплуатации. В связи с тем, что конструкционные материалы характеризуются различными механическими, физико-химическими и технологическими свойствами, рассматривать необходимо всю гамму свойств, особенно если в конструкции применяются детали, изготовленные из разных материалов. Выбор материала для конкретных изделий и области применения должен основываться также на стоимости рассматриваемых материалов с учетом экономической рациональности. Использование ранее хорошо зарекомендовавших себя в подобных конструкциях и изделиях материалов вполне оправдано, однако не приводит к совершенствованию конструкций и изделий авиационной техники [9–13].

Для ряда изделий и при создании техники, особенно специального назначения, необходимо разрабатывать принципиально новые материалы с более высоким комплексом свойств, ранее недоступным для серийных материалов. С целью установления сложной взаимосвязи между химическим составом, технологией получения материала, его структурой и свойствами в настоящее время проводятся научные исследования и эксперименты с применением моделирования условий эксплуатации изделия, в том числе с помощью компьютерных программ. Оптимизация

многофакторных технологий происходит с учетом современных производственных возможностей. Наука о материалах все ближе подходит к тому времени, когда можно будет с помощью компьютерных систем прогнозировать и рассчитывать с достаточно высокой точностью свойства новых уникальных металлических сплавов, пластмасс и, конечно, композиционных материалов.

Композиционный материал не может быть конструктивно универсальным, т. е. для каждого изделия требуется проведение всех необходимых расчетов и выбор оптимального сочетания компонентов с целью выполнения требований по эксплуатации конечного материала в конструкции, таких как:

- удельная прочность;
- жесткость;
- износостойкость;
- усталостная прочность;
- размеростабильность конструкции.

Большинство металлополимеров разрабатывается на основе алюминия. Несмотря на то что титан тяжелее алюминия, он (Ti) обладает преимуществами по теплопроводности – в 13 раз меньше теплопроводности алюминия; температурному коэффициенту линейного расширения (ТКЛР) – более низкий по сравнению с другими конструкционными материалами (при 20°C: в 1,5 раза ниже ТКЛР железа, в 2 раза – меди и в 3 раза – алюминия). Титан – парамагнитный металл, который не намагничивается, как железо, в магнитном поле и не выталкивается из него, как медь. Его магнитная восприимчивость очень слаба, это свойство можно использовать при строительстве, например, немагнитных кораблей, приборов, аппаратов. Необходимо также отметить, что механическая прочность титана и его сплавов в ~6 раз выше прочности алюминия [14–18].

Металлополимеры на основе титана

Применение титана и его сплавов в композиционных материалах изучено в значительно меньшей степени, чем алюминия, но уже сейчас можно сказать, что материалы на основе титана обладают более высокими технологическими характеристиками.

За рубежом ведется активная разработка титанполимерных слоистых материалов и имеются определенные успехи в этой области. Отечественных аналогов такого рода материалов в настоящее время не существует, что подтверждает актуальность

проблемы и необходимость проведения исследований и разработок в данном направлении.

Создание новых конструкционных материалов направлено в первую очередь на повышение удельных характеристик, что связано с постоянно возрастающими требованиями к весовой эффективности конструкций при обязательном обеспечении заданного комплекса механических и эксплуатационных свойств материалов. В настоящее время в ВИАМ проводятся исследования в области разработки гибридных материалов – слоистых металлополимерных композиционных материалов. Данные композиционные материалы (см. рисунок) имеют в своем составе листовые полуфабрикаты из легких сплавов, которые чередуются с угле- или стеклопрепрегами [19–21].

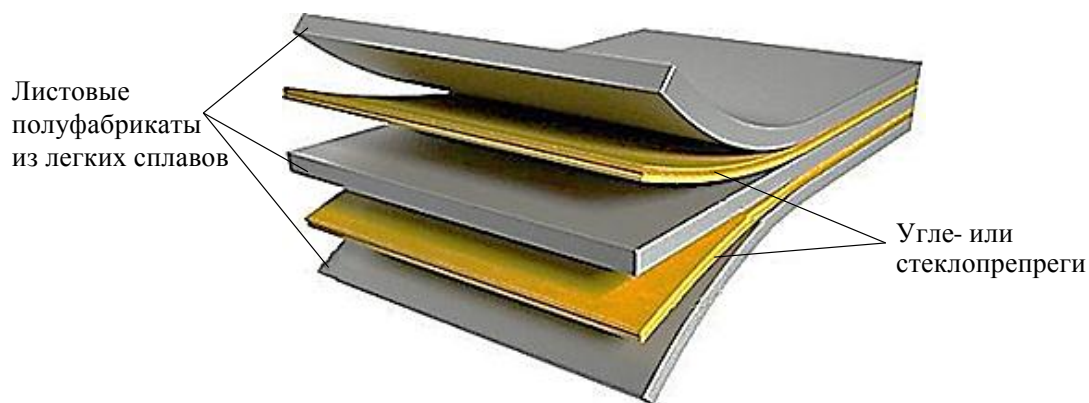


Схема металлополимерного композита

Наибольшее развитие в этой области получили так называемые СИАЛы – материалы на основе стеклопластика и алюминия. Помимо алюминиевых сплавов в металлополимерных композиционных материалах используются также сплавы на основе титана, что позволяет существенно повысить удельные прочностные свойства гибридного материала. Конструкции из титанполимерных композиционных материалов позволяют обеспечить снижение массы изделия на 20% по сравнению с цельнометаллическими конструкциями из алюминиевых сплавов и слоистых композиционных материалов системы Ti–TiAl₃. Традиционные титановые сплавы обладают высокими механическими характеристиками, но в настоящее время практически все возможности по увеличению их прочности и снижению плотности исчерпаны. Кроме того, многие высокотехнологичные титановые сплавы (например, сплавы SP-700, Beta CEZ и др.) имеют сложную систему легирования и содержат дефицитные и дорогостоящие элементы.

В настоящее время проводятся исследования по разработке металлополимеров на основе тонких листов из титановых сплавов BT20 и BT23M, которые обладают вы-

сокими технологическими свойствами и имеют менее сложную систему легирования, чем вышеуказанные зарубежные β -сплавы. Металлополимеры на их основе превосходят по своим упруго-прочностным свойствам стеклопластик СИАЛ-1 (см. таблицу).

Механические свойства слоистых материалов

Материал	σ_B	$\sigma_{B,сж}$	E , ГПа
	МПа		
Металлополимер на основе титанового сплава BT23	1500	935	130
Стеклопластик СИАЛ-1	800	–	60

Создание титанполимерных слоистых материалов позволит получить новый класс материалов, имеющих широкое разнообразие структур и свойств, позволяющих конструктору выбрать соответствующий требованиям изделия материал. Титанполимерные слоистые материалы, состоящие из титановых полуфабрикатов и препрегов углепластика, обладают уникальной комбинацией характеристик прочности, вязкости разрушения и трещиностойкости.

Слоистые материалы на основе титана и его сплавов имеют более высокие прочностные характеристики по сравнению с алюминиевыми полимерными слоистыми материалами СИАЛ и GLARE и работоспособны в более широком диапазоне температур от -60 до $+150^\circ\text{C}$ (не менее) – вместо $+120^\circ\text{C}$ для материалов СИАЛ и GLARE.

Выводы

По результатам анализа новых сплавов показано, что титанполимеры по своим упруго-прочностным и эксплуатационным свойствам превосходят альтернативные композиционные материалы и в ближайшем будущем займут свое место на рынке инновационной наукоемкой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
3. Каблов Е.Н., Каримова С.А., Семенова Л.В. Коррозионная активность углепластиков и защита металлических силовых конструкций в контакте с углепластиком //Коррозия: материалы, защита. 2011. №12. С. 1–7.

4. Тарасов Ю.М., Антипов В.В. Новые материалы ВИАМ – для перспективной авиационной техники производства ОАО «ОАК» //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 5–6.
5. Каблов Е.Н., Антипов В.В., Сенаторова О.Г. Слоистые алюмокомпозиты СИАЛ-1441 и сотрудничество с Airbus и TU DELFT //Цветные металлы. 2013. №9 (849). С. 50–53.
6. Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Лукина Н.Ф., Сидельников В.В., Шестов В.В. Слоистые металлополимерные композиционные материалы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 226–230.
7. Ночовная Н.А., Панин П.В., Алексеев Е.Б., Боков К.А. Экономнолегированные титановые сплавы для слоистых металлополимерных композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2014. №11. Ст. 02 (viam-works.ru).
8. Соколов И.И., Раскутин А.Е. Углепластики и стеклопластики нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 09 (viam-works.ru).
9. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Аниховская Л.И. Клеевые препреги для слоистых алюмокомпозитов класса СИАЛ //Труды ВИАМ. 2014. №1. Ст. 05 (viam-works.ru).
10. Каблов Е.Н., Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Лукина Н.Ф. Новый класс слоистых алюмокомпозитов на основе алюминийлитиевого сплава 1441 с пониженной плотностью //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2011. №SP2. С. 174–183.
11. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Вершков А.В. Редкие металлы и редкоземельные элементы – материалы современных и будущих высоких технологий //Труды ВИАМ. 2013. №2. Ст. 01 (viam-works.ru).
12. Петрова А.П., Лукина Н.Ф. Клеи для многоцветной космической системы //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 05 (viam-works.ru).
13. Дементьева Л.А., Сереженков А.А., Лукина Н.Ф., Куцевич К.Е. Клеевые препреги и слоистые материалы на их основе //Авиационные материалы и технологии. 2013. №2. С. 19–21.
14. Постнов В.И., Сенаторова О.Г., Каримова С.А., Павловская Т.Г., Железина Г.Ф., Казаков И.А., Абрамов П.А., Постнова М.В., Котов О.Е. Особенности формования крупногабаритных листов металлополимерных КМ, их структура и свойства //Авиационные материалы и технологии. 2009. №4. С. 23–32.

15. 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.
16. Фридляндер И.Н., Сенаторова О.Г., Лукина Н.Ф., Антипов В.В. Слоистые алюмополимерные материалы СИАЛ /В кн.: 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007: Юбилейный науч.-технич. сб. М.: ВИАМ. 2007. С. 188–192.
17. Zhu J. et al. Influence of boron addition on microstructure and mechanical properties of dental cast titanium alloys //Mat. Sci. & Eng. A. 2003. V. 339 (1–2). P. 53–62.
18. Niinomi M. Recent trends in titanium research and development in Japan //Proc. 12th World Conf. on Titanium. 2011. V. I. P. 30–37.
19. Гончаров В.А., Федотов М.Ю., Шиенок А.М. Моделирование полимерных композиционных материалов /В сб. трудов конф. «Новые материалы и технологии глубокой переработки сырья – основа инновационного развития экономики России». М.: ВИАМ. 2010. С. 8.
20. Хорев А.И., Белов С.П., Глазунов С.Г. Металловедение титана и его сплавов. М.: Металлургия. 1992. 352 с.
21. Ильин А.А., Колачев Б.А., Польшкин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: Справочник. М.: ВИЛС–МАТИ. 2009. 520 с.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Innovacionnyye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation «The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period to 2030»] //Aviacionnyye materialy i tehnologii. 2015. №1 (34). S. 3–33.
2. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlja aviacionnoj tehniki [Materials and chemical technologies for aviation engineering] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. T. 82. №6. S. 520–530.
3. Kablov E.N., Karimova S.A., Semenova L.V. Korrozionnaja aktivnost' ugleplastikov i zashhita metallicheskih silovykh konstrukcij v kontakte s ugleplastikom [Corrosion activity

- ugleplastikov and protection of metal load bearing structures in contact with the ugleplastiky] //Korrozija: materialy, zashhita. 2011. №12. S. 1–7.
4. Tarasov Ju.M., Antipov V.V. Novye materialy VIAM – dlja perspektivnoj aviacion-noj tehniki proizvodstva OAO «OAK» [The VIAM new materials – for perspective aviation engineering of production of JSC OAK] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №2. S. 5–6.
 5. Kablov E.N., Antipov V.V., Senatorova O.G. Sloistye aljmostekloplastiki SIAL-1441 i sotrudnichestvo s Airbus i TU DELFT [Layered aljmostekloplastiki SIAL-1441 and cooperation with Airbus and TU DELFT] //Cvetnye metally. 2013. №9 (849). S. 50–53.
 6. Antipov V.V., Senatorova O.G., Lukina N.F., Sidel'nikov V.V., Shestov V.V. Sloistye metallo-limernye kompozicionnye materialy [Layered metalpolymeric composite materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 226–230.
 7. Nochovnaja N.A., Panin P.V., Alekseev E.B., Bokov K.A. Jekonomnolegirovannye titanovyje splavy dlja sloistyh metalpolimernyh kompozicionnyh materialov [Ekonomnolegirovannye titanium alloys for layered metalpolymeric composite materials] //Trudy VIAM. 2014. №11. St. 02 (viam-works.ru).
 8. Sokolov I.I., Raskutin A.E. Ugleplastiki i stekloplastiki novogo pokolenija [Ugleplastiki and fibreglasses of new generation] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 09 (viam-works.ru).
 9. Lukina N.F., Dement'eva L.A., Anihovskaja L.I. Kleevyje prepregi dlja sloistyh aljmostekloplastikov klassa SIAL [Glue prepregs for layered aljmostekloplastikov class SIAL] //Trudy VIAM. 2014. №1. St. 05 (viam-works.ru).
 10. Kablov E.N., Antipov V.V., Senatorova O.G., Lukina N.F. Novyj klass sloistyh aljmostekloplastikov na osnove aljuminijlitiyevogo splava 1441 s ponizhennoj plotnost'ju [New class layered aljmostekloplastikov on the basis of aljuminijlitiyevy alloy 1441 with lowered density] //Vestnik MGTU im. N.Je. Baumana. Ser. «Mashinostroenie». 2011. №SP2. S. 174–183.
 11. Kablov E.N., Ospennikova O.G., Vershkov A.V. Redkie metally i redkozemel'nye jelementy – materialy sovremennyh i budushhih vysokih tehnologij [Rare metals and rare earth elements – materials of modern and future high technologies] //Trudy VIAM. 2013. №2. St. 01 (viam-works.ru).
 12. Petrova A.P., Lukina N.F. Klei dlja mnogorazovoj kosmicheskoj sistemy [Glues for reusable space system] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 05 (viam-works.ru).

13. Dement'eva L.A., Serezhenkov A.A., Lukina N.F., Kucevich K.E. Kleevye prepregi i sloistye materialy na ih osnove [Glue prepregs and layered materials on their basis] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №2. S. 19–21.
14. Postnov V.I., Senatorova O.G., Karimova S.A., Pavlovskaja T.G., Zhelezina G.F., Kazakov I.A., Abramov P.A., Postnova M.V., Kotov O.E. Osobennosti formovaniya krupnogabaritnyh listov metallopolimernyh KM, ih struktura i svojstva [Features of formation of large-size sheets of metalpolymeric KM, their structure and properties] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2009. №4. S. 23–32.
15. Senatorova O.G., Antipov V.V., Lukina N.F., Sidel'nikov V.V., Shestov V.V., Mit-rakov O.V., Popov V.I., Ershov A.S. Vysokoprochnye treshhinostojkie legkie sloistye aljumoostekloplastiki klassa SIAL – perspektivnyj material dlja aviacionnyh konstrukcij [High-strength treshchinostoyky lungs layered alyumoostekloplastiki class SIAL – perspective material for aviation designs] //Tehnologija legkih splavov. 2009. №2. S. 28–31.
16. Fridljander I.N., Senatorova O.G., Lukina N.F., Antipov V.V. Sloistye aljumo-polimernye materialy SIAL [SIAL layered alyumo-polymeric materials] /V kn.: 75 let. Aviacionnye materialy. Izbrannye trudy «VIAM» 1932–2007: Jubilejnyj nauch.-tehnič. sb. M.: VIAM. 2007. S. 188–192.
17. Zhu J. et al. Influence of boron addition on microstructure and mechanical properties of dental cast titanium alloys //Mat. Sci. & Eng. A. 2003. V. 339 (1–2). P. 53–62.
18. Niinomi M. Recent trends in titanium research and development in Japan //Proc. 12th World Conf. on Titanium. 2011. V. I. P. 30–37.
19. Goncharov V.A., Fedotov M.Ju., Shienok A.M. Modelirovanie polimernyh kompozicionnyh materialov [Modeling of polymeric composite materials] /V sb. trudov konf. «Novye materialy i tehnologii glubokoj pererabotki syr'ja – osnova innovacionnogo razvitija jekonomiki Rossii». M.: VIAM. 2010. S. 8.
20. Horev A.I., Belov S.P., Glazunov S.G. Metallovedenie titana i ego splavov [Metallurgical science of titanium and its alloys]. M.: Metallurgija. 1992. 352 s.
21. Il'in A.A., Kolachev B.A., Pol'kin I.S. Titanovye splavy. Sostav, struktura, svojstva [Titanium alloys. Structure, structure, properties]: Spravochnik. M.: VILS–MATI. 2009. 520 s.