

УДК 621.793.5:621.763:546.26:539.422.5

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕАЛЮМИНИЕВОГО КОМПОЗИТА С ОКСИДНЫМИ TiO_2 -ПЛЕНКАМИ

Р. Ф. Галлямова¹, А. И. Гомзин², Р. Л. Сафиуллин³, В. А. Докичев⁴, Н. Г. Зарипов⁵

¹rida_gallyamova@mail.ru, ²andre-gomzi@yandex.ru, ³chemdir@anrb.ru, ⁴dokichev@anrb.ru, ⁵nzaripov@mail.ru

^{1,3,4} ФГБНУ «Уфимский институт химии РАН» (УФИХ УФИЦ РАН)

^{1,2,5} ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 07.07.2020

Аннотация. В работе TiO_2 -пленки были получены и использованы в качестве защитных покрытий между углеродным волокном и матрицей из алюминиевого сплава в углеалюминиевом композите. Нанесение оксидной пленки на поверхность углеродных волокон осуществлялось золь-гель методом. Образцы композита с матрицей из алюминиевого сплава системы Al-Mg были получены методом жидкофазной инфильтрации под давлением. Изучены поверхность углеродных волокон, их термическая стабильность после нанесения оксидной пленки и прочность при трехточечном изгибе углеалюминиевого композита. Установлено, что при изотермической выдержке углеродных волокон до 600 °С TiO_2 -пленка хорошо защищает поверхность углеродных волокон по сравнению с непокрытыми волокнами. Наличие оксидной пленки на поверхности углеродных волокон приводит к увеличению предела прочности при трехточечном изгибе углеалюминиевого композита с 264 до 667 МПа.

Ключевые слова: углеродное волокно; оксидная пленка; оксид титана; золь-гель; синтез; термическая стабильность; композит; алюминий; прочность; фрактография.

ВВЕДЕНИЕ

Композитный материал на основе алюминиевой матрицы, армированной углеродными волокнами, давно интересует исследователей во всем мире. Благодаря сочетанию свойств компонентов (пластичность алюминия и прочность углеродных волокон при низкой плотности обоих) углеалюминиевый композит (далее – Cf/Al) сможет стать одним из лучших конструкционных материалов для космической, авиационной и других отраслей [1–3].

Эффективность большинства композитных материалов в первую очередь зависит от свойств на межфазной границе «напол-

нитель/матрица». Данное высказывание справедливо и для волокнистых композитов. Так, в свое время была проделана большая работа по получению и изучению боро-алюминиевых композитов, в которых степень взаимодействия борных волокон и алюминия ввиду образования боридов определяет конечные свойства всего композитного материала [4].

При изготовлении углеалюминиевых композитов различными методами также наблюдается образование третьей фазы – разупрочняющего карбида алюминия на межфазной границе [5–7], поэтому в настоящее время при изготовлении композитов не удается добиться высоких механических

Работа выполнена по теме № АААА-А17-1170011910021-8 в рамках государственного задания УФИХ РАН и при финансовой поддержке гранта Республики Башкортостан молодым ученым (№ 5ГР/2020 г.).

свойств. Малый диаметр углеродного волокна позволяет использовать лишь жидкофазные методы получения таких композитов, что в сочетании с высокой реакционной способностью системы «углерод – алюминий» неминуемо приводит к образованию карбидов. Следовательно, для получения комплекса высоких механических свойств в углеалюминиевом композите одной из главных задач является разработка технологий, обеспечивающих подавление образования карбидов на межфазной поверхности.

Одним из способов предотвращения образования карбидов является модификация поверхности углеродного волокна защитными пленками. Металлические покрытия на углеродных волокнах не приводили к желаемому эффекту ввиду разрушения самого покрытия либо его химического взаимодействия с матричным расплавом и образования нежелательных интерметаллидных соединений [8].

Более подходящими материалами для создания барьерного покрытия в углеалюминиевом композите являются оксиды. Оксидная пленка должна обладать химической стабильностью при высоких температурах. Это в первую очередь касается процессов, происходящих внутри пленки, например микроструктурной эволюции, фазовых переходов, процессов взаимодействия между составляющими пленки и углеродного волокна. Кроме того, оксидная пленка, выступая в роли барьерного слоя, должна предотвращать образование карбидов (в частности, Al_4C_3) и улучшать смачиваемость углеродного волокна и матрицы. Пленка должна быть устойчивой к окислению, т. к. воздействие окислительной атмосферы при повышенных температурах в процессе изготовления композита на пленку может приводить к существенному изменению ее химической природы и структурных характеристик, как следствие, к значительному снижению механических свойств пленки и материала в целом.

Классический способ получения оксидных пленок, керамических покрытий TiN, SiC, а также градиентных покрытий C-SiC-Si путем химического осаждения (CVD) в значительной мере ограничен для

широкого применения из-за необходимости подготовки поверхности перед нанесением покрытий, необходимости дорогих прекурсоров, которые могут быть токсичными или взрывоопасными [9, 10].

Одним из более перспективных способов нанесения защитных оксидных пленок на поверхность углеродных волокон является золь-гель метод. С помощью этого метода возможно получение тонких керамических пленок не только на разного рода волокнах, но и на любых поверхностях различных материалов [11, 12]. Как правило, в качестве исходных веществ выступают металлоорганические соединения, например тетраэтоксисилан ($Si(OC_2H_5)_4$), буюксид титана ($Ti(OC_4H_9)_4$ или $Ti(OBu)_4$), изопророксид алюминия $Al(OC_3H_7)_3$. Схема включает гидролиз металлоорганических соединений, получение прозрачных устойчивых золь, погружение волокон в золь, высушивание и нагревание. Учитывая положительный опыт некоторых исследователей, использующих покрытие оксида титана на волокнах при создании композита с металлической матрицей, для данного исследования выбрали создание аналогичного покрытия волокон [7, 11, 13].

В данной работе оксидные TiO_2 -пленки наносились на поверхность углеродных волокон золь-гель методом. Исследовалась термическая стабильность волокон без пленки и с TiO_2 -пленкой. Методом жидкофазной инфильтрации под давлением были изготовлены образцы композита с матрицей из алюминиевого сплава АМг6, армированного углеродными волокнами, были исследованы их микроструктура, прочность и характер разрушения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материал исследований. В работе использовались высокомодульные углеродные волокна из прекурсора полиакрилонитрила (ПАН-прекурсора) марки UMT430 (Umatex, Россия), средний диаметр одного филамента составляет 5,5 мкм (рис. 1). Прочность при растяжении таких волокон составляет 4,5 ГПа, модуль упругости – 430 ГПа. Для удаления защитного полимерного слоя поверхность углеродных волокон

Таблица 1

Состав золь-гель раствора, мл

Ti(OBu) ₄	C ₄ H ₉ OH	CH ₃ COOH	C ₅ H ₈ O ₂	H ₂ O
17,1	101,7	2,9	0,5	0,9

предварительно подвергалась термической обработке при температуре 400 °С в течение 20 мин [14].

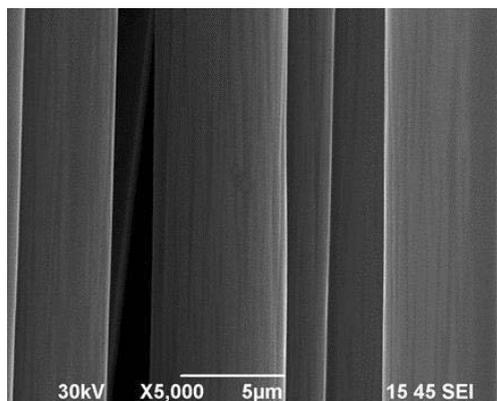


Рис. 1. Поверхность углеродных волокон в состоянии поставки

Композиты, армированные углеродными волокнами без оксидной пленки и с TiO₂-пленкой, получали методом жидкофазной пропитки под давлением [15]. Матричным являлся алюминиевый сплав системы Al-Mg – AlMg6. Выбор сплава с наличием магния в составе обуславливается подавлением образования карбида алюминия на границе «матрица – углеродное волокно» [16, 17]. Образцы композита размерами 70×70 мм и толщиной 3 мм получали при приложении давления 70 МПа (рис. 2). Объемная доля заложеного волокна составляла 30 %.

Методики исследований. Нанесение оксидной пленки осуществлялось золь-гель методом. В качестве источника оксида титана использовался буюксид титана. Состав золь-гель раствора представлен в табл. 1 [18].

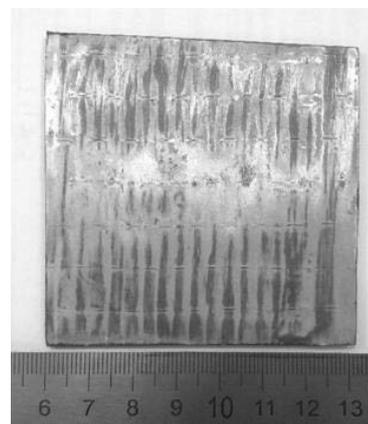
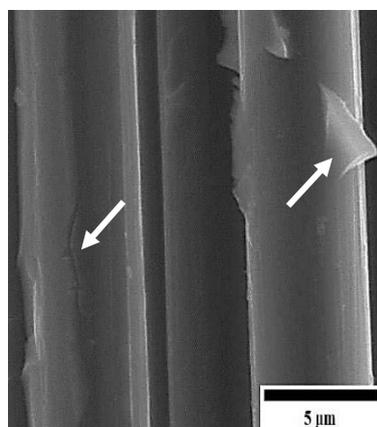


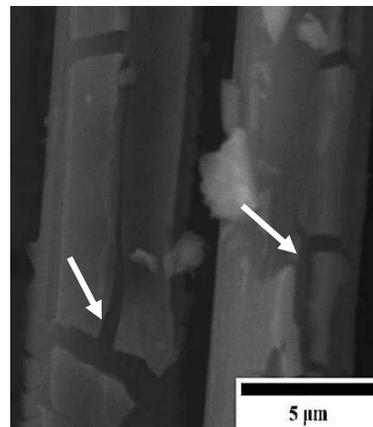
Рис. 2. Внешний вид углеалюминиевого композита

В смесь растворов (бутанол, уксусная кислота, ацетилацетон) добавлялся буюксид титана, весь раствор перемешивался в течение 1 ч, после чего медленно, по каплям добавлялась смесь из воды и бутанола и перемешивалась в течение 1 ч. Для того чтобы активизировались процессы гидролиза и конденсации, приготовленный раствор выдерживался в течение 3 дней при комнатной температуре.

Нанесение оксидной пленки на поверхность углеродного волокна осуществлялось путем погружения углеродных волокон в раствор. Волокна выдерживались в растворе и высушивались на воздухе в течение 24 ч.



a



б

Рис. 3. СЭМ-изображения углеродных волокон с TiO₂-пленкой (стрелками показаны трещины в пленках): *a* – T15; *б* – T30

Для удобства TiO_2 -пленки, выдержанные в растворе при различном времени, были обозначены как T15 и T30 для 15 и 30 мин соответственно.

Для оценки защитных свойств углеродные волокна подвергались нагреву в камерной печи при температуре $600\text{ }^\circ\text{C}$ с выдержкой от 1 до 6 ч. В процессе исследования оценивалась потеря массы углеродного волокна путем взвешивания волокон на аналитических весах (Metler Toledo XR26).

Механические испытания образцов на трехточечный изгиб проводились при условиях, приближенных к ГОСТ Р 56810-2015. Композиты полимерные. Метод испытания на изгиб плоских образцов. Испытания проводились на испытательной машине AS-102. Поверхности углеродных волокон и разрушения образцов, а также микроструктура изучались на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ, JEOL JSM-6490LV). Локальный химический анализ образцов производился с использованием системы для энергодисперсионного микроанализа INCA Energy.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Исследования углеродных волокон с TiO_2 -пленкой. Поверхность углеродных волокон после нанесения оксидной пленки показана на рис. 3. При выдержке образцов в растворе в течение 15 мин (покрытие T15) пленка наносится равномерно, хотя и присутствуют немногочисленные участки с трещинами (рис. 3, а, стрелками показаны дефекты оксидной пленки). Увеличение времени выдержки волокон в золь-гель растворе (покрытие T15) и дальнейшая сушка на воздухе привели к слипанию волокон между собой и к растрескиванию оксидной пленки (рис. 3, б). Вероятнее всего, это связано с сушкой волокон на воздухе, которая приводит к застыванию верхнего слоя оксидной пленки и затрудняет испарение в нижних слоях. В результате возникают внутренние напряжения, приводящие к появлению трещин [19]. Следовательно, часть поверхности углеродного волокна остается незащищенной и увеличивает вероятность образования карбидов алюминия в процессе получения углеалюминиевого композита. В связи с этим в дальнейшем для получения

композиционного материала использовали углеродные волокна с нанесенной оксидной пленкой T15.

Оценку защитных свойств полученных пленок проводили по результатам изотермической выдержки при температуре $600\text{ }^\circ\text{C}$. Изменение массы углеродного волокна в процессе отжига показано на рис. 4.

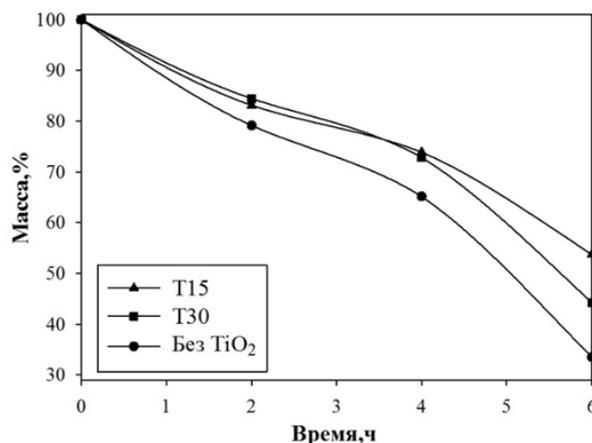
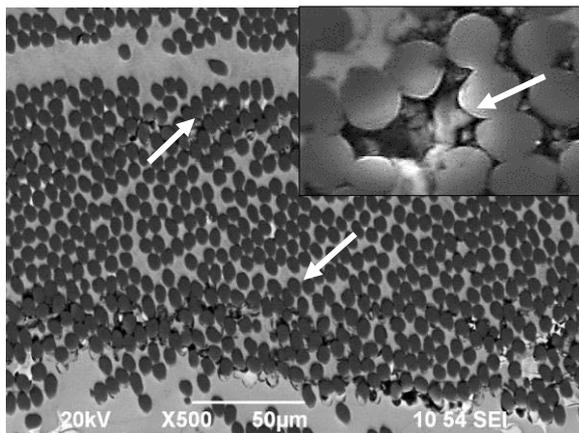


Рис. 4. Термическая стабильность углеродных волокон при температуре $600\text{ }^\circ\text{C}$

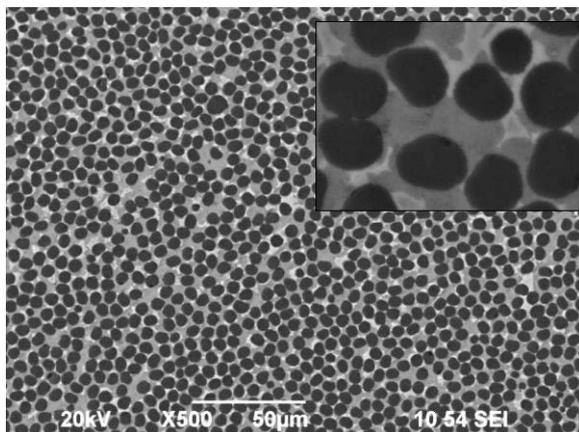
Углеродные волокна без оксидной пленки выгорают быстрее, чем волокна с пленками. Масса углеродных волокон с пленками в процессе всего отжига изменяется монотонно. Так, после 6 ч отжига масса волокон с T15 составляет 54 %, T30 – 45 % от первоначальной, тогда как у волокон без оксидной пленки – только 33 %. Масса T30 после 4 ч отжига резко уменьшается. Это связано с наличием трещин на поверхности оксидной пленки, что способствует резкому выгоранию углеродного волокна. В течение 4 ч отжига углеродные волокна с T15 и T30 показывают хорошую окислительную стойкость по сравнению с волокнами без оксидной пленки. Таким образом, при температуре $600\text{ }^\circ\text{C}$ оксидная пленка на протяжении 6 ч отжига защищает углеродное волокно от полного выгорания. При этом существует возможность повысить термостабильность волокон, оптимизировав режим нанесения оксидной пленки и добившись нанесения защитной пленки на каждое волокно по отдельности и абсолютно без дефектов.

Исследование углеалюминиевого композита. На рис. 5 представлена микроструктура углеалюминиевого композита. Компо-

зит без оксидной пленки (рис. 5, *а*) имеет незаполненные матричным сплавом области (показаны стрелками). Можно предположить, что данное явление связано с отсутствием интенсивного химического взаимодействия высокомодульного волокна и расплава АМгб в отдельных областях композита. Поэтому для заполнения всего межволоконного пространства необходимо прикладывать более высокое давление.



а



б

Рис. 5. Микроструктура углеалюминиевых композитов: *а* – с волокном без оксидной пленки (стрелками показаны области без пропитки); *б* – волокна с TiO_2 -пленкой

При аналогичных условиях изготовления в композите с покрытием Т15 непропитанные области не наблюдаются (рис. 5, *б*), в структуре имеются светлые включения в матрице. При помощи локального химического анализа (рис. 6, табл. 2) установлено, что это частицы оксида титана, которые не находились в непосредственном контакте с углеродным волокном. Вероятнее всего, при получении композита в некоторых участках

произошло отслоение оксидной пленки. Также необходимо отметить, что в образце с оксидной пленкой на снимках не наблюдается соприкасающихся волокон, что является дополнительным преимуществом использования TiO_2 -пленки.

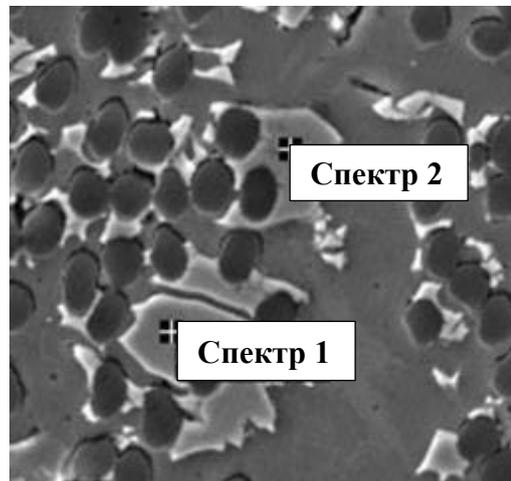


Рис. 6. Локальный химический анализ частиц в углеалюминиевом композите

Таблица 2

Локальный химический анализ частиц

Элемент	Al	Mg	Ti	O
Содержание, %	0,39 ± 0,01	3,13 ± 0,6	58,06 ± 0,84	38,60 ± 0,60

Помимо улучшения микроструктуры углеалюминиевого композита пленка оксида титана, нанесенная золь-гель методом, позволила улучшить механические свойства материала. Прочность композитных образцов, испытанных на трехточечный изгиб с углеродными волокнами без покрытия, составила 254 МПа, с покрытием волокон из оксида титана – 667 МПа. Разрушение композита без нанесения оксидной пленки на волокнах хрупкое, поверхность относительно плоская, с изредка встречающимися отдельно торчащими непропитанными волокнами [20].

В случае образца с покрытыми волокнами поверхность излома имеет развитый рельеф (рис. 7), а также имеет место разрушение с одиночным выдергиванием волокон. Поверхность волокон после контакта с расплавом и после разрушения не претерпевает

заметных изменений (рис. 7, увеличенное изображение), следы межфазного взаимодействия (эрозионные ямки) отсутствуют.

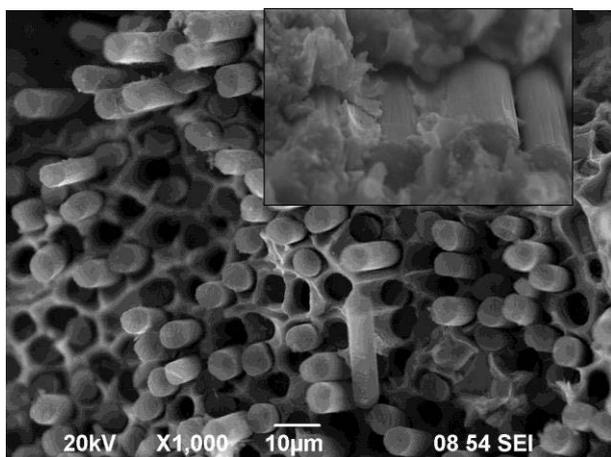


Рис. 7. Поверхность разрушения образцов композита с TiO_2 -пленкой

Следовательно, на участках, где оксидная пленка сплошная и без дефектов, образование карбидов алюминия подавляется, о чем свидетельствует поверхность волокна без видимых дефектов. Однако в процессе получения композита оксид титана в межволоконном пространстве начинает разрушаться и таким образом не тормозит образование карбидов. Тем не менее прочность композитов с TiO_2 -пленкой выше в 3 раза, что свидетельствует об оптимальной адгезии на межфазной границе на отдельных участках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было установлено влияние оксидной пленки из TiO_2 на окислительную стойкость углеродных волокон, а также на микроструктуру и механические свойства композита. Результаты проведенных исследований показали следующее:

1. Выдержка углеродных волокон в зольгель растворе в течение 15 мин приводит к появлению на их поверхности сплошного оксидного TiO_2 -покрытия с немногочисленными микротрещинами. Увеличение времени выдержки до 30 мин и дальнейшая обработка приводят к растрескиванию оксидной пленки на поверхности углеродных волокон. Изотермическая выдержка углеродных волокон до 600°C показала, что TiO_2 -пленка хорошо защищает поверхность углеродных волокон по сравнению с непокрытыми волокнами.

2. Нанесение оксидной пленки на углеродные волокна приводит к увеличению прочности композита на трехточечный изгиб: с 254 МПа у композитов с непокрытыми волокнами до 667 МПа у композитов с волокнами, покрытыми TiO_2 -пленкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Fabrication** of continuous carbon fiber-reinforced aluminum–magnesium alloy composite wires using ultrasonic infiltration method / T. Matsunaga, et al. // *Composites: Part A*. 2007. Vol. 38. Pp. 1902-1911. [T. Matsunaga, et al., “Fabrication of continuous carbon fiber-reinforced aluminum–magnesium alloy composite wires using ultrasonic infiltration method”, in *Composites: Part A*, vol. 38, pp. 1902-1911, 2007.]
2. **Yunhe Z., Gaohua W.** Comparative study on the interface and mechanical properties of T700/Al and M40/Al composites // *Rare Metals*. 2010. Vol. 29. Pp. 102-107. [Z. Yunhe, W. Gaohua, “Comparative study on the interface and mechanical properties of T700/Al and M40/Al composites”, in *Rare Metals*, vol. 29, pp. 102-107, 2010.]
3. **Asano K.** Mechanical properties of aluminum composites reinforced with pan- and pitch-based short carbon fibers // *Materials Transactions*. 2017. Vol. 58. Pp. 906-913. [K. Asano, “Mechanical properties of aluminum composites reinforced with pan- and pitch-based short carbon fibers”, in *Materials Transactions*, vol. 58, pp. 906-913, 2017.]
4. **Mileiko S. T.** Metal and Ceramic Based Composites. Elsevier, Amsterdam, 1997. P. 692. [S. T. Mileiko, *Metal and Ceramic Based Composites*. Amsterdam: Elsevier, 1997.]
5. **Feldhoff A., Pippel E., Woltersdorf J.** Interface reactions and fracture behavior of fibre-reinforced Mg/Al alloys // *Journal Microscopy*. 1997. Vol. 185. Pp. 122-131. [A. Feldhoff, E. Pippel, J. Woltersdorf, “Interface reactions and fracture behavior of fibre-reinforced Mg/Al alloys”, in *Journal Microscopy*, vol. 185, pp. 122-131, 1997.]
6. **Feldhoff A., Pippel E., Woltersdorf J.** Interface Engineering of Carbon Fiber Reinforced Mg–Al Alloys // *Advanced Engineering Materials*. 2000. Vol. 2. Pp. 471-480. [A. Feldhoff, E. Pippel, J. Woltersdorf, “Interface Engineering of Carbon Fiber Reinforced Mg–Al Alloys”, in *Advanced Engineering Materials*, vol. 2, pp. 471-480, 2000.]
7. **Interfacial** microstructure and mechanical properties of Cf/AZ91D composites with TiO_2 and PyC fiber coatings / S. Li, et al. // *Micron*. 2017. Vol. 101. Pp. 170-176. [S. Li, et al., “Interfacial microstructure and mechanical properties of Cf/AZ91D composites with TiO_2 and PyC fiber coatings”, in *Micron*, vol. 101, pp. 170-176, 2017.]
8. **Костиков В. И., Варенков А. Н.** Композиционные материалы на основе алюминиевых сплавов, армированных углеродным волокнами. М.: Интермет Инжиниринг, 2000. 445 с. [V. I. Kostikov, A. N. Varenkov, *Composite materials based on aluminum alloys reinforced with carbon fibers*, (in Russian). Moscow: Intermet Inzhiniring, 2000.]
9. **Enhancement** of the oxidation resistance of interfacial area in C/C composites / S. Labruquere, et al. // *Journal of the European Ceramic Society*. 2002. Vol. 22. Pp. 1001-1009. [S. Labruquere, et al., “Enhancement of the oxidation resistance of interfacial area in C/C composites”, in *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 22, pp. 1001-1009, 2002.]
10. **Creighton J. R., Sandia P. H.** Chapter 1. Introduction to Chemical Vapor Deposition (CVD). ASM International, Ohio, USA, 2001. [J. R. Creighton, P. H. Sandia, *Chapter 1. Introduction to Chemical Vapor Deposition (CVD)*. ASM International, Ohio, USA, 2001.]

11. **Preparation** and characterization of TiO₂ thin films by the sol-gel process / T. Wen, et al. // *J. Mater. Sci.* 2001. Vol. 6. Pp. 5923-5926. [T. Wen, et al., "Preparation and characterization of TiO₂ thin films by the sol-gel process", in *J. Mater. Sci.*, vol. 6, pp. 5923-5926, 2001.]

12. **Investigation** of Protective Coatings for Carbon Fibers by the Sol-Gel Method / R. F. Gallyamova, et al. // *Solid State Phenomena*. 2018. Vol. 284. Pp. 1242-1247. [R. F. Gallyamova, et al., "Investigation of Protective Coatings for Carbon Fibers by the Sol-Gel Method", in *Solid State Phenomena*, vol. 284, pp. 1242-1247, 2018.]

13. **The effect** of aluminum content on TiO₂ coated carbon fiber reinforced magnesium alloy composites / C. J. Xia, et al. // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 488-489. Pp. 30-35. [C. J. Xia, et al., "The effect of aluminum content on TiO₂ coated carbon fiber reinforced magnesium alloy composites", in *Applied Mechanics and Materials*, vol. 488-489, pp. 30-35, 2014.]

14. **Подготовка** углеродного волокна к нанесению интерфазного покрытия для композиционных материалов с керамической матрицей / М. И. Валуева [и др.] // *Труды ВИАМ*. 2017. № 10 (58). С. 79-89. [М. И. Валуева, et al., "Preparation of carbon fiber for applying an interphase coating for composite materials with a ceramic matrix", (in Russian), in *Trudy VIAM*, no. 10 (58), pp. 79-89, 2017.]

15. **Galyshv S. N., Gomzin A. I., Musin F. F.** Aluminum matrix composite reinforced by carbon fibers // *Materials Today Proceeding*. 2019. Vol. 11. Pp. 3249-3254. [S. N. Galyshv, A. I. Gomzin, F. F. Musin, "Aluminum matrix composite reinforced by carbon fibers", in *Materials Today Proceeding*, vol. 11, pp. 3249-3254, 2019.]

16. **Revzin B., Fuks D., Pelleg J.** Influence of alloying on the solubility of carbon fibers in aluminium-based composites; Non empirical approach // *Composites Science and Technology*. 1996. Vol. 56. Pp. 3-10. [B. Revzin, D. Fuks, J. Pelleg, "Influence of alloying on the solubility of carbon fibers in aluminium-based composites; Non empirical approach", in *Composites Science and Technology*, vol. 56, pp. 3-10, 1996.]

17. **Pelleg J., Ashkenazi D., Ganor M.** The influence of a third element on the interface reactions in metal-matrix composites (MMC) Al-graphite system // *Materials Science and Engineering: A*. 2000. Vol. 281. Pp. 239-247. [J. Pelleg, D. Ashkenazi, M. Ganor, "The influence of a third element on the interface reactions in metal-matrix composites (MMC) Al-graphite system", in *Materials Science and Engineering: A*, vol. 281, pp. 239-247, 2000.]

18. **Preparation** of titanium dioxide immobilized on carbon fibers annealed in steam ambient and their photocatalytic properties / H. Hu, et al. // *Textile Research Journal*. 2016. Vol. 87. Pp. 2233-2241. [H. Hu, et al., "Preparation of titanium dioxide immobilized on carbon fibers annealed in steam ambient and their photocatalytic properties", in *Textile Research Journal*, vol. 87, pp. 2233-2241, 2016.]

19. **Research** on cracking of SiO₂ nanofilms prepared by the sol-gel method / S. Hao, et al. // *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2019. Vol. 91. Pp. 181-187. [S. Hao, et al., "Research on cracking of SiO₂ nanofilms prepared by the sol-gel method", in *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 91, pp. 181-187, 2019.]

20. **The Chemical** Reactivity Comparison of High-Modulus and High-Strength Carbon Fibers / A. I. Gomzin, et al. // *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 989. Pp. 347-352. [A. I. Gomzin, et al., "The Chemical Reactivity Comparison of High-Modulus and High-Strength Carbon Fibers", in *Materials Science Forum*, vol. 989, pp. 347-352, 2020.]

ОБ АВТОРАХ

ГАЛЛЯМОВА Рида Фадисовна, асп. УФИЦ РАН, инж. каф. МиФМ УГАТУ. Дипл. магистр. техн. и технол. по спец. материаловед. (УГАТУ, 2017). Иссл. в обл. нанесений покрытий и композиционных материалов.

ГОМЗИН Андрей Игоревич, асп. каф. МиФМ. Дипл. магистр техн. и технол. по спец. материаловед. (УГАТУ, 2018). Иссл. в обл. композиционных материалов.

САФИУЛЛИН Рустам Лутфуллович, зав. лаб. химической кинетики УФИХ УФИЦ РАН, проф., д-р хим. наук.

ДОКИЧЕВ Владимир Анатольевич, зав. лаб. биоорганической химии и катализа УФИХ УФИЦ РАН, проф., д-р хим. наук.

ЗАРИПОВ Наиль Гарифьянович, д-р физ.-мат. наук, проф. каф. МиФМ УГАТУ.

METADATA

Title: Investigation of a carbon-aluminum composite with oxide TiO₂ films.

Authors: R. F. Gallyamova¹, A. I. Gomzin², R. L. Safiullin³, V. A. Dokichev⁴, N. G. Zaripov⁵

Affiliation:

¹ Ufa Institute of Chemistry – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the RAS, Russia.

² Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹rida_gallyamova@mail.ru, ²andre-gomzi@yandex.ru, ³chemdir@anrb.ru, ⁴dokichev@anrb.ru, ⁵nzaripov@mail.ru

Language: Russian.

Source: *Vestnik UGATU* (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 24, no. 3 (89), pp. 20-26, 2020. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The possibility of using TiO₂ films as protective coatings between a carbon fiber and an aluminum matrix in a carbon-aluminum composite was studied. The oxide film was deposited onto the surface of carbon fibers by the sol-gel method. Samples of a composite with an AMg6 alloy matrix were obtained by liquid-phase infiltration under pressure. We studied the surface of carbon fibers and thermal stability after deposition of an oxide film. The mechanical properties of the carbon-aluminum composite were investigated. Microstructural and fractographic analyzes of the samples were carried out.

Key words: carbon fiber; oxide film; titanium oxide; sol-gel; synthesis; thermal stability; composite; aluminum; strength; fractography.

About authors:

GALLYAMOVA, Rida Fadisovna, Postgrad. Student of the UFRC of the RAS, engineer of the Dept. of Materials Technology and Metals Physics. Dipl. Master Tech. and Technol. by Material Science (UGATU, 2017).

GOMZIN, Andrey Igorevich, Postgrad. Student of the Dept. of Materials Technology and Metals Physics. Dipl. Master Tech. and Technol. by Material Science (UGATU, 2018).

SAFIULLIN, Rustam Lutfullovich, Head of the Laboratory of Chemical Kinetics of the Ufa Institute of Chemistry, Prof., Dr. of Chemical Sciences.

DOKICHEV, Vladimir Anatolyevich, Head of the Laboratory Bioorganic Chemistry and Catalysis of the Ufa Institute of Chemistry, Prof., Dr. of Chemical Sciences.

ZARIPOV, Nail Garifyanovich, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Prof. of Dept. of Materials Science and Physics of Metals of Ufa State Aviation Technical University.