



УДК 669.018.95:620.178.6

doi: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-3-3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ
ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА МЕТОДОМ
МИКРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

И.Е. Кармышев

Е.И. Краснов

Ноябрь 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.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА МЕТОДОМ МИКРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

doi: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-3-3

Представлены результаты исследования технологических особенностей формирования композиционного материала на основе алюминия, армированного дискретными волокнами бора. Поскольку бор обладает аномально большим сечением поглощения тепловых нейтронов, то покрытие из композиционного материала с добавлением бора может использоваться в качестве защиты от тепловых нейтронов гамма-детекторов внешней поверхности скважинных геофизических приборов. С развитием новых технологий размеры оборудования уменьшаются, а количество приборов увеличивается, и свободного пространства, в которое устанавливается защита, становится меньше. Использование данного материала позволит получать защитное покрытие толщиной 1,5 мм, а ослабление потока тепловых нейтронов у такого покрытия намного выше, чем у используемых сейчас материалов толщиной 5 мм. Приведены исследования по термоциклированию образцов композиционного материала с различной объемной долей армирующего наполнителя – от 30 до 50% (объемн.).

Ключевые слова: композиционный материал, алюминий, бор.

I.E. Karmyshev, E.I. Krasnov

The study of the technological characteristics of the formation of a composite material based on aluminum alloy using microplastic deformation

The paper presents the results of a study of the technological characteristics of the formation of a composite material based on aluminum, reinforced with discrete boron fibers. Since boron has anomalously large neutron- absorption cross- section, the coating of a composite material with the addition of boron can be used as protection against thermal neutrons of gamma detectors of the outer surface of downhole geophysical devices. With the development of new technologies equipment decreases in size, the number of devices increases and free space in which protection system is placed becomes less. The use of this material allows manufacturing protective coating with a thickness of 1,5 mm and it provides much higher attenuation of the thermal neutron flux than currently used materials with a layer thickness of 5 mm. The results of test for thermocycling of composite material samples with different volume fraction of reinforcing agent (from 30 to 50 vol. %) are shown.

Keywords: composite material, aluminum, boron.

¹Научно-производственный центр «Научно-исследовательский институт Микроприборов», закрытое акционерное общество [Closed joint stock company Research and Production Center «Research Institute of Microdevices»] E-mail: info@nii-mp.ru

²Федеральное 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

Развитие науки и техники в последние годы неразрывно связано с внедрением композиционных материалов (КМ). Наиболее широко КМ используются в несущих

конструкциях различного назначения. Стремительный прогресс данного класса материалов связан прежде всего с высоким уровнем эксплуатационных характеристик КМ, что обеспечивает создание изделий с технико-экономическими показателями, как правило, превосходящими соответствующие показатели изделий из традиционных конструкционных материалов [1–4]. Композиционные материалы позволяют совершенствовать уже освоенные промышленностью изделия путем замены в них традиционных материалов и осваивать новые изделия, которые в принципе могут быть созданы только при использовании КМ, причем наибольший эффект от применения КМ достигается в высоконагруженных конструкциях, к которым предъявляются жесткие требования по снижению их массы (например, в аэрокосмической промышленности) [4–7]. Композиционные материалы все больше внедряются в промышленность в качестве не только конструкционных, но и функциональных материалов [8].

Композиционный материал на основе алюминиевого сплава, армированный дискретными волокнами бора, которые обладают аномально большим сечением поглощения (σ_a) тепловых нейтронов, может использоваться в качестве защиты от тепловых нейтронов гамма-детекторов внешней поверхности скважинных геофизических приборов [9–12].

Гамма-детектор или нейтронный гамма-каротаж (НГК) имеет несколько модификаций, которые отличаются применяемыми источниками нейтронов – радионуклидный источник, постоянно излучающий нейтроны, или импульсный нейтронный генератор, нейтронный выход которого меняется по заданной программе. Геофизиками разработано и применяется большое количество аппаратуры НГК различной конструкции и назначения. Надежная защита детекторов в этой аппаратуре от тепловых нейтронов является всегда желательным, а во многих случаях необходимым элементом конструкции. Вместе с тем в настоящее время отсутствует удовлетворительная конструкция и технология изготовления такой защиты, в которой учитываются тяжелые условия эксплуатации геофизической аппаратуры – особенно в глубоких (до четырех-пяти километров) нефтегазовых скважинах, где температура достигает 200°C [12, 13].

При выборе материалов защиты определяющими факторами являются защитные и механические свойства материалов, их стоимость, масса и объем. Для замедления быстрых нейтронов до тепловых применяют вещества с малым атомным номером. Наиболее эффективными материалами являются водородсодержащие вещества: вода, тяжелая вода, бетон, парафин, полиэтилен, различные пластмассы. После того как быстрые нейтроны замедлились, они могут быть поглощены. Для этой цели применяют материалы с большим сечением поглощения (σ_a), такие как бор и материалы с добавками бора: борные стали, бораль, борный графит, карбид бора, борированная вода и бетон.

Поглощение нейтронов может сопровождаться захватным гамма-излучением, поэтому при выборе материала для поглощения тепловых нейтронов надо отдавать предпочтение таким, которые дают наименьшее захватное излучение. Защиту от тепловых нейтронов изготавливают обычно из материала, содержащего бор или его соединения. При изучении свойств бора не могло быть не замечено его аномально большое сечение поглощения (σ_a) тепловых нейтронов. У большинства элементов σ_a имеет значение от 0,1 до 10 барн ($1 \text{ б} = 10^{-24} \text{ см}^2$). У бора это значение составляет 756 б, что в сотни раз превосходит величины сечений поглощения тепловых нейтронов другими элементами, входящими в конструкционные материалы, применяемые в конструкции скважинных приборов. Поэтому защита от тепловых нейтронов из борсодержащего материала позволяет обеспечить необходимое ослабление потока тепловых нейтронов на гамма-детектор при небольшой толщине самой защиты, что важно ввиду дефицита места в скважинной аппаратуре [13].

Материалы и методы

В данной работе для исследования технологических особенностей формирования КМ в качестве исходных компонентов использовали порошок алюминия марки АСД-1 с размером частиц <50 мкм и дискретные волокна бора размером 0,125–0,08 мкм. Дискретные волокна бора получали путем измельчения непрерывной нити в шаровой мельнице.

Для получения смеси порошка алюминия и дискретных волокон бора исходные компоненты загружали в турбулентный смеситель в соотношении 50/50, 60/40 и 70/30% (по массе) алюминия к бору соответственно. Для получения однородной вязкой массы в смесь порошка и дискретных волокон добавляли связующее. Полученную массу наносили ровным слоем на предварительно подготовленную стальную подложку, на которую наносили слой алюминия толщиной 0,5 мм методом холодного газодинамического напыления. Полученную заготовку после сушки подвергали горячему прессованию.

С точки зрения технологических параметров граничными условиями получения данного КМ являются давление прессования, равное 40 МПа, и продолжительность изостатической выдержки, равная 15 мин. Для проведения исследований были изготовлены образцы с объемным содержанием армирующего наполнителя 30, 40 и 50% (объемн.) по различным технологическим параметрам: давление прессования – от 40 до 60 МПа; продолжительность выдержки под давлением – от 15 до 45 мин.

Результаты

Для исследования технологических особенностей формирования КМ на основе алюминиевого сплава методом микропластической деформации были изготовлены образцы и проведены исследования влияния термоциклирования на прочность покрытия. Для правильного проведения анализа потери массы материала после испытаний, рассчитывали массу материала без подложки и относительное изменение массы материала. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты влияния термоциклирования на прочность покрытия

| Условный номер образца | Масса материала, г | | |
|------------------------|----------------------|-------------------------------|-------|
| | в исходном состоянии | после термоциклирования, цикл | |
| | | 25 | 50 |
| 1 | 32,72 | 32,15 | 31,91 |
| 2 | 29,8 | 29,39 | 29,29 |
| 3 | 32,01 | 31,44 | 31,27 |

На рис. 1 представлен график изменения массы материала покрытия в зависимости от количества выполненных циклов «нагрев–охлаждение». Видно, что образец 2 оказался наиболее стойким к разрушающему действию изменения температур. Образец 3 имеет большее значение изменения массы, но в ходе испытаний образец получил скол по краю из-за фронтального удара. Образец 1 имеет наибольшее изменение массы, что связано с наибольшей поверхностной пористостью относительно других образцов.

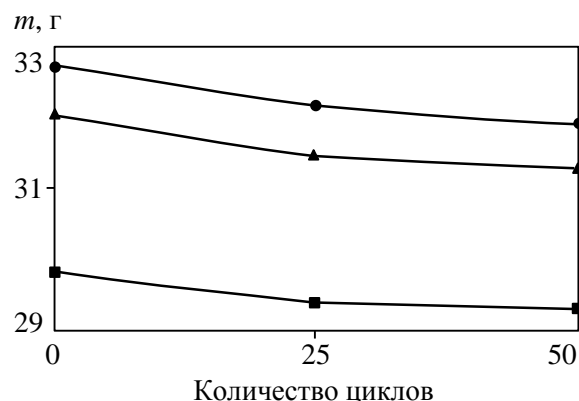


Рис. 1. Изменение массы (m) материала покрытия при испытании образцов 1 (●), 2 (■) и 3 (▲) в зависимости от количества выполненных циклов «нагрев–охлаждение»

Анализ диаграммы (рис.2, а) и результатов исследований потери массы образцов в зависимости от давления прессования (табл. 2) показал, что независимо от объемной доли наполнителя давление прессования влияет на прочность материала, однако с увеличением процентного содержания дискретных волокон бора влияние давления уменьшается. Возможно это связано с тем, что в материале с большим содержанием армирующего наполнителя процессы течения матричного материала происходят легче.

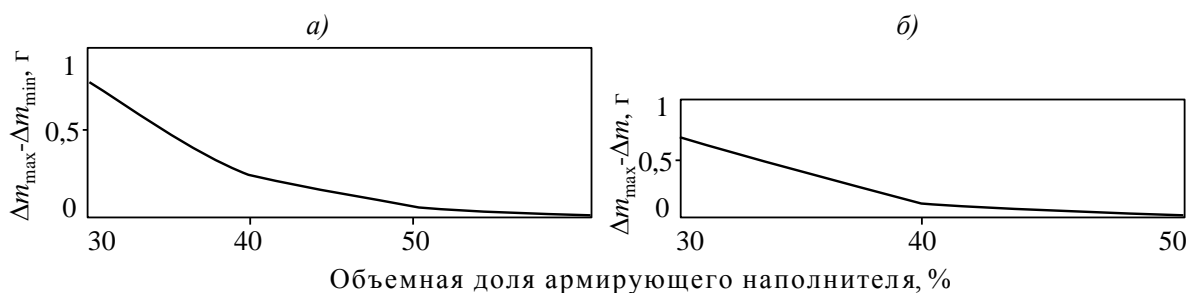


Рис. 2. Изменение потери массы образцов с различным объемным содержанием армирующего наполнителя при влиянии давления (а) и продолжительности прессования (б)

Таблица 2

Результаты исследования потери массы образцов с различным содержанием армирующего наполнителя в зависимости от давления прессования

| Содержание бора, % | Потери массы, г, при давлении прессования, МПа | | | $\Delta m_{\max} - \Delta m_{\min}$, Г |
|--------------------|--|-----|------|---|
| | 40 | 50 | 60 | |
| 30 | 2,5 | 1,7 | 2,4 | 0,8 |
| 40 | 2,5 | 2,3 | 2,2 | 0,3 |
| 50 | 2,76 | – | 2,66 | 0,1 |

Таблица 3

Результаты исследования потери массы образцов с различным содержанием армирующего наполнителя в зависимости от времени выдержки

| Содержание бора, % | Потери массы, г, при продолжительности прессования, мин | | | $\Delta m_{\max} - \Delta m_{\min}$, Г |
|--------------------|---|------|------|---|
| | 15 | 30 | 45 | |
| 30 | 1,7 | 1,17 | 1,05 | 0,65 |
| 40 | 2,3 | 2,17 | 2,16 | 0,14 |

| | | | | |
|----|---|-----|------|------|
| 50 | 0 | 2,3 | 2,24 | 0,06 |
|----|---|-----|------|------|

Анализируя диаграмму, представленную на рис. 2, б, а также результаты исследования изменения массы образцов в зависимости от продолжительности прессования (табл. 3), сделано заключение о том, что с увеличением процентного содержания армирующего наполнителя влияние продолжительности выдержки под давлением уменьшается. Это можно объяснить тем, что с увеличением содержания дискретных волокон бора процесс разрушения оксидной пленки порошка алюминия имеет больший масштаб и соответственно скорость.

Обсуждение и заключения

Граничными условиями получения композиционного материала на основе алюминия, армированного дискретными волокнами бора, являются давление прессования, равное 40 МПа, и продолжительность изостатической выдержки, равная 15 мин. Увеличение давления и продолжительности изостатической выдержки способствует увеличению стойкости КМ при термоциклировании. На основании проведенных исследований сделано заключение о том, что наиболее оптимальными технологическими параметрами получения КМ на основе алюминия, армированного дискретными волокнами бора, являются: давление прессования, равное 60 МПа, и продолжительность выдержки под давлением 45 мин.

При увеличении давления прессования >60 МПа возникают трудности получения материала в качестве покрытия на подложках, имеющих не плоское сечение, а увеличение продолжительности выдержки под давлением >45 мин малоэффективно.

Материал с объемным содержанием коротких волокон 50% (по массе) является эффективной защитой от нейтронного излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алюминиевые сплавы /В кн. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди; Под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ. 2012. С. 143–156.
2. 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.
3. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
4. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
5. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России //Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
6. 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.
7. Каблов Е.Н., Герасимов В.В., Висик Е.М., Демонис И.М. Роль направленной кристаллизации в ресурсосберегающей технологии производства деталей ГТД //Труды ВИАМ. 2013. №3. Ст. 01 (viam-works.ru).
8. Шмотин Ю.Н., Старков Р.Ю., Данилов Д.В., Оспенникова О.Г., Ломберг Б.С. Новые материалы для перспективного двигателя ОАО «НПО „Сатурн”» //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 6–8.
9. Курганова Ю.А. Перспективы развития металломатричных композиционных материалов промышленного назначения //Сервис в России и за рубежом. 2012. Т. 30. №3. С. 235–240.
10. Курганова Ю.А., Чернышева Т.А., Кобелева Л.И., Курганов С.В. Эксплуатационные характеристики алюмоматричных дисперсноупрочненных композиционных материалов и перспективы их использования на современном рынке конструкционных материалов //Металлы. 2011. №4. С. 71.
11. Chawla N., Chawla K.K. Metal Matrix Composites /In: Springer Science+Business Media. Inc. 2006. 401 p.
12. Филиппов Е.М., Полак Л.С. Прикладная ядерная геофизика. М.: Изд-во АН СССР. 1962. 579 с.

13. Алиев А.Н., Дрынкин В.И., Лейкунская Д.И., Касаткин В.А. Ядерно-физические константы для нейтронного активационного анализа: Справочник. М.: Атомиздат. 1969. 326 с.

REFERENCES LIST

1. Alyuminievye splavy [Aluminium alloys] /V kn. Istoriya aviacionnogo materialovedeniya. VIAM – 80 let: gody i ljudi; Pod obshh. red. E.N. Kablova. M.: VIAM. 2012. S. 143–156.
2. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitiya materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030»] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2015. №1 (34). S. 3–33.
3. Kablov E.N. Himiya v aviacionnom materialovedenii [Chemistry in aviation materials science] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 3–4.
4. Kablov E.N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace materials science] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2008. №3. S. 2–14.
5. Kablov E.N. Sovremennye materialy – osnova innovacionnoj modernizacii Rossii [Modern materials – a basis of innovative modernization of Russia] //Metally Evrazii. 2012. №3. S. 10–15.
6. Tarasov Ju.M., Antipov V.V. Novye materialy VIAM – dlya perspektivnoj aviacionnoj tehniky proizvodstva OAO «OAK» [New materials VIAM – for the perspective aircraft equipment of production of JSC «OAK»] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №2. S. 5–6.
7. Kablov E.N., Gerasimov V.V., Visik E.M., Demonis I.M. Rol napravlennoj kristallizacii v resursoberegayushhej tehnologii proizvodstva detalej GTD [Role of the directed solidification in the resource-saving production technologies of details of GTE] //Trudy VIAM. 2013. №3. St. 01 (viam-works.ru).
8. Shmotin Ju.N., Starkov R.Ju., Danilov D.V., Ospennikova O.G., Lomberg B.S. Novye materialy dlya perspektivnogo dvigatelya OAO «NPO „Saturn”» [New materials for the perspective engine of JSC «NPO „Saturn”»] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №2. S. 6–8.
9. Kurganova Ju.A. Perspektivy razvitija metallomatrixnykh kompozicionnykh materialov promyshlennogo naznacheniya [Prospects of development of metalmatrix composite materials of industrial function] //Servis v Rossii i za rubezhom. 2012. T. 30. №3. S. 235–240.
10. Kurganova Ju.A., Chernysheva T.A., Kobeleva L.I., Kurganov S.V. Jekspluacionnye karakteristiki aljumomatrixnykh dispersnouprochnennykh kompozicionnykh materialov i perspektivy ih ispolzovaniya na sovremennom rynke konstrukcionnykh materialov [Operational characteristics the al-um-matrix the disperse hardened of composite materials and prospect of their use in the modern market of constructional materials] //Metally. 2011. №4. S. 71.
11. Chawla N., Chawla K.K. Metal Matrix Composites /In: Springer Science+Business Media. Inc. 2006. 401 p.
12. Filippov E.M., Polak L.S. Prikladnaya yadernaya geofizika [Applied nuclear geophysics]. M.: Izd-vo AN SSSR. 1962. 579 s.
13. Aliev A.N., Drynkin V.I., Lejkunskaja D.I., Kasatkin V.A. Yaderno-fizicheskie konstanty dlya nejtronnogo aktivacionnogo analiza [Nuclear and physical constants for the neutron activation analysis]: Spravochnik. M.: Atomizdat. 1969. 326 s.