



УДК 620.177

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-5-11-11

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С МАТРИЦЕЙ НА ОСНОВЕ NЬ

О.В. Басаргин

С.Г. Кольшев

Б.В. Щетанов

доктор технических наук

Т.М. Щеглова

Май 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.

О.В. Басаргин¹, С.Г. Колышев¹, Б.В. Щетанов¹, Т.М. Щеглова¹

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С МАТРИЦЕЙ НА ОСНОВЕ Nb

Разработка высокотемпературных конструкционных материалов предполагает определение их прочностных свойств при температуре эксплуатации. В данной работе представлены основные проблемы, связанные с проведением механических испытаний образцов металлматричных композиционных материалов (КМ) с матрицей на основе Nb при 1300–1400°C, и предложено их решение.

Ключевые слова: температура, прочность, испытания, КМ, Nb-матрица.

O.V. Basargin, S.G. Kolyshev, B.V. Shchetanov, T.M. Shcheglova

SOME FEATURES OF HIGH-TEMPERATURE BEND TESTS OF Nb-based CM SPECIMENS

The development of high-temperature structural materials means determination of their strength properties at operation temperatures. The decisions of the main problems of mechanical tests of specimens made from Nb-based matrix composite materials (CM) at 1300–1400°C are described in this work.

Keywords: temperature, strength, tests, CM, Nb-matrix.

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

Анализ современной технической литературы показывает, что одним из приоритетных направлений является разработка металлматричных и полиматричных композиционных материалов (КМ), предназначенных для эксплуатации при высоких температурах. В частности, одним из таких материалов является композит с матрицей на основе ниобия [1–6].

Однако, наряду с некоторыми положительными качествами ниобия (высокая температура плавления, удовлетворительная пластичность), существенным недостатком является его высокое сродство к кислороду и, как следствие, нежелательная окисляемость в обычной атмосфере (практически при температуре >200°C).

Одним из актуальных вопросов при исследовании новых материалов является использование апробированных и надежных методик испытаний. На протяжении ряда лет при испытаниях на сжатие и изгиб керамических материалов использована стандартная оснастка, изготовленная из карбида кремния (муассанит) [7–11].

Материалы и методы

В состав универсальной установки для механических испытаний Instron 5882 включена высокотемпературная (до 1500°C) печь сопротивления с оснасткой, позволяющей проводить испытания на воздухе при сжатии и четырехточечном изгибе (ограничение по нагрузке 100 кг, максимальная стрела прогиба 1,5 мм). Общий вид печи со стандартной оснасткой приведен на рис. 1.



Рис. 1. Рабочее пространство печи, входящей в состав установки Instron 5882, со штатной оснасткой

В рабочем пространстве печи в зоне образца установлены управляющая и контрольная термопары, позволяющие поддерживать и отслеживать заданный температурно-временной режим эксперимента. На рис. 1 можно увидеть верхний и нижний алундовые толкатели и штатное приспособление из SiC для проведения испытаний при четырехточечном изгибе.

Следует отметить, что при нагреве печи до температуры проведения испытаний, происходит расширение материала оснастки, причем корундовые стержни (вследствие большой длины) дают основной вклад в удлинение. Для предотвращения преждевременного нагружения образца верхний стержень (толкатель) перед началом нагрева отводят от оснастки на расстояние, рассчитанное с учетом температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) корунда, суммарной длины стержней и температуры эксперимента.

При выходе на заданную температуру для достижения равновесного температурного поля проводили изотермическую выдержку в течение 3 мин, после чего начинали нагружение образца.

Конфигурация приспособления для четырехточечного изгиба из SiC идеальна для испытаний керамических материалов, сохраняющих хрупкий характер излома при

высоких температурах [11–13]. Однако для материалов, обладающих высокой пластичностью, что характерно для металлических матриц (например, КМ с матрицей на основе Nb), требуется оснастка, обеспечивающая возможность получения большей стрелы прогиба.

Кроме того, при высокотемпературных испытаниях КМ с матрицей на основе Nb возникают дополнительные проблемы, одна из которых связана с высокой окисляемостью Nb, а вторая – с взаимодействием Nb и SiC, что может вызвать эрозию опорных плоскостей и выход из строя дорогостоящей оснастки.

Исходя из ограничения по габариту, связанного с конструкцией печи, и простоты изготовления, принято решение перейти к схеме трехточечного изгиба, а SiC заменить на алунд, который существенно дешевле деталей штатного приспособления из SiC.

Приспособление для трехточечного изгиба, конструкция которого представлена на рис. 2, устанавливается на штатных алундовых стержнях. База испытаний составляет 40 мм. Стрела прогиба может достигать 5 мм. Заметного взаимодействия алунда с Nb при высоких температурах не обнаружено.

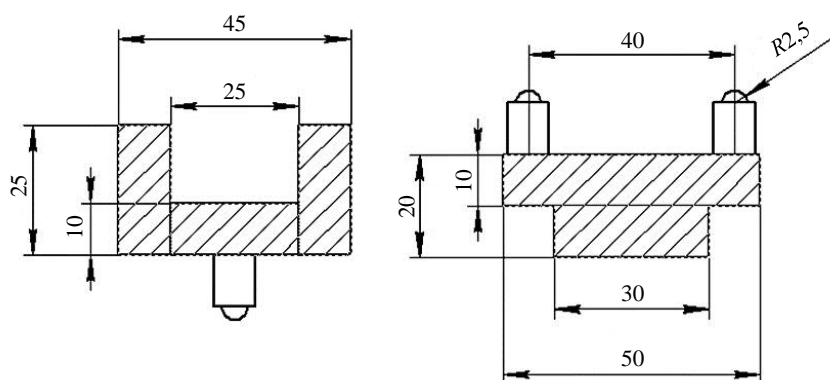


Рис. 2. Принципиальная схема приспособления для трехточечного изгиба, предназначенного для проведения высокотемпературных испытаний

Детали оснастки, передающие нагрузку на испытуемый образец, изготовлены из высококачественного алунда. Детали, не подвергающиеся воздействию сжимающей нагрузки: направляющие верхней и нижней частей оснастки, центрирующие их относительно базовых алундовых стержней, выполнены из жесткого волокнистого материала типа ВТИ-17 на основе муллитокремнеземных волокон [14–16].

Наглядный эксперимент при температуре 1300°C показал, что нагрев на воздухе образца с Nb матрицей приводит к его сильнейшему окислению (рис. 3).



Рис. 3. Образец композиционного материала с матрицей на основе Nb после нагрева до 1300°C в воздушной атмосфере

Данное обстоятельство обусловило необходимость проведения всего цикла испытания, включая нагрев и охлаждение, с использованием инертного газа (печь, входящая в состав установки Instron 5882, не позволяет получить вакуум в рабочем пространстве). С этой целью к образцу через алундовую трубочку с внутренним диаметром 2 мм, расположенную чуть выше образца (аргон – тяжелее воздуха), подводили аргон (высший сорт, ГОСТ 10157–79). Поскольку подводимый газ мог снижать температуру в зоне образца, особое внимание обращали на ее контроль в этой области. Перед началом нагрева (скорость подъема температуры 12 град/мин) печь подвергали интенсивной продувке аргоном, далее при стационарном режиме нагрева расход газа 15 л/мин контролировали по ротаметру РС-3М.

Результаты

Перечисленные усовершенствования позволят проводить высокотемпературные испытания при изгибе образцов из КМ на базе Nb матрицы. На рис. 4 приведена характерная кривая, полученная в ходе этих экспериментов. Стрела прогиба при использовании приспособления для трехточечного изгиба достигала ~5 мм. Следует отметить, что использование в качестве защитной среды аргона не решило полностью проблему окисления образца, хотя в значительной мере снизило степень окисления, что, в свою очередь, позволило отработать технологию нанесения на образцы защитных покрытий.

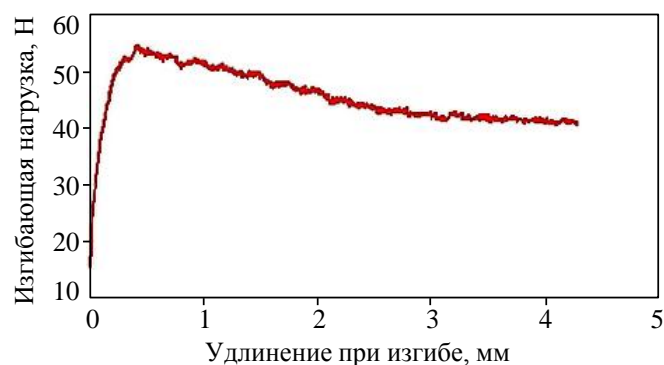


Рис. 4. Типичная экспериментальная кривая высокотемпературного испытания образца композиционного материала с Nb матрицей



Рис. 5. Образцы с различными видами защитных покрытий после высокотемпературных испытаний в потоке аргона

На рис. 5 показан вид образцов с различными защитными покрытиями, испытанных при температуре 1300°С с использованием аргона.

Обсуждение и заключения

Таким образом, с использованием деталей штатной оснастки печи сопротивления, входящей в состав установки Instron 5882, предложена конструкция приспособления для трехточечного изгиба и методика высокотемпературных испытаний образцов, обладающих высокой пластичностью и склонных к окислению, что сделало возможным проведение высокотемпературных (1300–1400°С) испытаний образцов КМ с матрицей на основе Nb.

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., Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Балинова Ю.А. Перспективные армирующие высокотемпературные волокна для металлических и керамических композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2013. №2. Ст. 05 (viam.works.ru).

3. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В., Солнцев С.С. Перспективные высокотемпературные керамические композиционные материалы //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 20–24.
4. Каблов Е.Н., Кондрашов С.В., Юрков Г.Ю. Перспективы использования углеродсодержащих наночастиц в связующих для полимерных композиционных материалов //Российские нанотехнологии. 2013. Т. 8. №3–4. С. 24–42.
5. Гуняев Г.М., Каблов Е.Н., Алексагин В.М. Модифицирование конструкционных углепластиков углеродными наночастицами //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 5–11.
6. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Гращенков Д.В., Шавнев А.А., Няфкин А.Н. Металломатричные композиционные материалы на основе Al–SiC //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 373–380.
7. Варрик Н.М., Ивахненко Ю.А., Максимов В.Г. Оксид-оксидные композиционные материалы для газотурбинных двигателей (обзор) //Труды ВИАМ. 2014. №8. Ст. 03 (viam.works.ru).
8. Щетанов Б.В., Стрюков Д.О., Колышев С.Г., Мурашева В.В. Монокристаллические волокна оксида алюминия: получение, структура, свойства //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2014. №4. С. 14–18.
9. Каблов Е.Н., Светлов И.Л., Ефимочкин И.Ю. Высокотемпературные Nb–Si-композиты //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2011. №SP2. С. 164–173.
10. Гращенков Д.В., Щетанов Б.В., Ефимочкин И.Ю. Развитие порошковой металлургии жаропрочных материалов //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. №5. С. 13–26, №6. С. 10–22.
11. Максимов В.Г., Басаргин О.В., Щеглова Т.М., Никитина В.Ю. О проявлении сверхпластичности в полидисперсной керамике муллит–оксид циркония с размером кристаллов более 10 мкм //Труды ВИАМ. 2013. №6. Ст. 04 (viam-works.ru).
12. Basargin O.V., Shcheglova T.M., Kolyshev S.G., Nikitina V.Yu., Maksimov V.G., Babashov V.G. Determination of the high-temperature strength of ceramic oxide materials //Glass and Ceramics. 2013. V. 70. №1–2. P. 43–46.
13. Максимов В.Г., Гращенков Д.В., Ломовской В.А., Бабашов В.Г., Басаргин О.В., Колышев С.Г. Исследование высокотемпературной ползучести в полидисперсной керамике муллит – оксид циркония //Стекло и керамика. 2014. №5. С. 36–40.
14. Ивахненко Ю.А., Бабашов В.Г., Зимичев А.М., Тинякова Е.В. Высокотемпературные теплоизоляционные и теплозащитные материалы на основе тугоплавких соединений //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 380–386.
15. Тинякова Е.В., Гращенков Д.В. Теплоизоляционный материал на основе муллито-корундовых и кварцевых волокон //Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 43–46.

16. Щетанов Б.В., Балинова Ю.А., Люлюкина Г.Ю., Соловьева Е.П. Структура и свойства непрерывных поликристаллических волокон α -Al₂O₃ //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 13–17.

REFERENSES LIST

1. Kablov E.N. Innovacionnye 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 till 2030»] //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Kablov E.N., Shhetanov B.V., Ivahnenko Ju.A., Balinova Ju.A. Perspektivnye armirujushhie vysokotemperaturnye volokna dlja metallicheskih i keramicheskikh kompozicionnyh materialov [Perspective reinforcing high-temperature fibers for metal and ceramic composite materials] //Trudy VIAM. 2013. №2. St. 05 (viam.works.ru).
3. Kablov E.N., Grashhenkov D.V., Isaeva N.V., Solncev S.S. Perspektivnye vysokotemperaturnye keramicheskie kompozicionnye materialy [Perspective high-temperature ceramic composite materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 20–24.
4. Kablov E.N., Kondrashov S.V., Jurkov G.Ju. Perspektivy ispol'zovanija ugle-rodsozderzhashhih nanochastich v svjazujushhih dlja polimernyh kompozicionnyh materialov [Perspectives of use of carbon-containing nanoparticles in binding for polymeric composite materials] //Rossijskie nanotehnologii. 2013. T. 8. №3–4. S. 24–42.
5. Gunjaev G.M., Kablov E.N., Aleksashin V.M. Modificirovanie konstrukcionnyh ugleplastikov uglerodnymi nanochasticami [Modifying constructional ugleplastikov carbon nanoparticles] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 5–11.
6. Kablov E.N., Shhetanov B.V., Grashhenkov D.V., Shavnev A.A., Njafkin A.N. Metallomatrichnye kompozicionnye materialy na osnove Al–SiC [Metalmatrix composite materials on the basis of Al–SiC] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 373–380.
7. Varrik N.M., Ivahnenko Ju.A., Maksimov V.G. Oksid-oksidnye kompozicionnye materialy dlja gazoturbinnih dvigatelej (obzor) [Oksid-oksidnye composite materials for gas turbine engines (review)] //Trudy VIAM. 2014. №8. St. 03 (viam.works.ru).
8. Shhetanov B.V., Strjukov D.O., Kolyshev S.G., Murasheva V.V. Monokristallicheskie volokna oksida aljuminija: poluchenie, struktura, svojstva [Single-crystal fibers of aluminum oxide: receiving, structure, properties] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2014. №4. S. 14–18.
9. Kablov E.N., Svetlov I.L., Efimochkin I.Ju. Vysokotemperaturnye Nb–Si-kompozity [High-temperature Nb-Si-composites] //Vestnik MGTU im. N.Je. Baumana. Ser. «Mashinostroenie». 2011. №SP2. S. 164–173.

10. Grashhenkov D.V., Shhetanov B.V., Efimochkin I.Ju. Razvitie poroshkovej metallurgii zharoprochnyh materialov [Development of powder metallurgy of heat resisting materials] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2011. №5. S. 13–26, №6. S. 10–22.
11. Maksimov V.G., Basargin O.V., Shheglova T.M., Nikitina V.Ju. O projavlenii sverhplastichnosti v polidispersnoj keramike mullit–oksid cirkonija s razmerom kristallov bolee 10 mkm [About superplasticity manifestation in unequigranular ceramics mullit-zirconium oxide with size of crystals more than 10 microns] //Trudy VIAM. 2013. №6. St. 04 (viam-works.ru).
12. Basargin O.V., Shcheglova T.M., Kolyshev S.G., Nikitina V.Yu., Maksimov V.G., Babashov V.G. Determination of the high-temperature strength of ceramic oxide materials //Glass and Ceramics. 2013. V. 70. №1–2. P. 43–46.
13. Maksimov V.G., Grashhenkov D.V., Lomovskoj V.A., Babashov V.G., Basargin O.V., Kolyshev S.G. Issledovanie vysokotemperaturnoj polzuchesti v polidispersnoj keramike mullit – oksid cirkonija [Research of high-temperature creep in unequigranular ceramics mullit – zirconium oxide] //Steklo i keramika. 2014. №5. S. 36–40.
14. Ivahnenko Ju.A., Babashov V.G., Zimichev A.M., Tinjakova E.V. Vysokotemperaturnye teploizoljacionnye i teplozashhitnye materialy na osnove tugoplavkih soedinenij [High-temperature heatinsulating and heat-protective materials on the basis of high-melting connections] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 380–386.
15. Tinjakova E.V., Grashhenkov D.V. Teploizoljacionnyj material na osnove mullito-korundovyh i kvarcevyh volokon [Heatinsulating material on the basis of mullito-korundovy and quartz fibers] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №3. S. 43–46.
16. Shhetanov B.V., Balinova Ju.A., Ljuljukina G.Ju., Solov'eva E.P. Struktura i svojstva nepreryvnyh polikristallicheskih volokon α -Al₂O₃ [Structure and properties of continuous polycrystalline fibers α -Al₂O₃] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №1. S. 13–17.