

УДК: 621.793;669.8;621.762;669.018.45;532.696.1

**Е.Н. ПОЛЯРУС¹, А.П. УМАНСКИЙ¹, А.У. СТЕЛЬМАХ², Ю.И. ЕВДОКИМЕНКО¹,
В.М. КИСИЛЬ¹, В.И. СУББОТИН¹**

¹*Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев*

²*Национальный авиационный университет, Киев*

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ НА МЕХАНИЗМ ИХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗОАБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

Исследовано влияние состава материалов на механизм и интенсивность их изнашивания при высокотемпературных газоабразивных испытаниях. Изучены макро- и микро-структуры поверхностей материалов после испытаний в двухфазном высокоскоростном потоке абразивных частиц карбида кремния при $T = 500$ °С. Показано, что для сплава ЖС 26 при испытаниях под воздействием температуры и высокоскоростного потока абразивных частиц происходит интенсивное деформирование образца с формированием на его поверхности волнообразного рельефа. Для разработанных композиционных материалов системы NiAl-CrB₂ деформация поверхности затруднена из-за наличия упрочняющей боридной фазы. При этом наиболее высокие значения износостойкости соответствуют композиту NiAl-15%CrB₂.

Ключевые слова: композиционные материалы, интерметаллид NiAl, термоэрозионные испытания, высокотемпературный газоабразивный износ, структура, упрочняющая боридная фаза, интенсивность изнашивания.

Введение

Лопатки ГТД работают в жестких условиях одновременного воздействия центробежной силы собственной массы и поперечных аэродинамических сил, создаваемых потоком газа в турбине, в агрессивной среде при высоких температурах [1]. Для современных ГТД одним из наилучших материалов для изготовления лопаток являются литейные жаропрочные никелевые сплавы, среди которых наиболее широкое распространение получили сплавы типа ЖС 26.

Недостатком использования таких сплавов является необходимость их «утяжеления» введением в состав тугоплавких элементов (таких как рений, вольфрам) с целью повышения жаропрочности при $T = 1200$ °С [2].

В связи с этим, все чаще появляется информация о перспективе использования интерметаллидов NiAl и Ni₃Al в качестве основы для создания конструкционных материалов, работающих при повышенных температурах. Помимо этого, основное внимание уделяется также разработке композиционных материалов на основе интерметаллидов. Такие материалы должны обладать определенным комплексом характеристик, необходимых для их эксплуатации в условиях высоких температур, абразивного износа, а также в условиях термоэрозионного изнашивания продуктами сгорания.

Следует также отметить, что необходимым является и разработка защитных и прирабатываемых покрытий, обеспечивающих работоспособность при повышенных температурах и нагрузках, стойких против высокотемпературной коррозии, эрозии и износа. Особенно актуальна эта проблема для деталей камеры сгорания и лопаток первой ступени турбины авиационных двигателей новых поколений и конверсионных газотурбинных агрегатов с большими ресурсами эксплуатации, стенок камеры компрессора низкого и высокого давления, торцов лопаток ГТД [3-5].

Ранее было установлено [6-10], что введение диборида хрома в NiAl позволяет существенно повысить износостойкость интерметаллида в условиях высокотемпературного трения-износа.

Целью работы являлось исследование влияния состава испытываемых материалов на механизм их высокотемпературного газоабразивного изнашивания при угле атаки абразива 30°.

Экспериментальная часть

Термоабразивные испытания проводили в высокоскоростной струе продуктов сгорания, несущей частицы абразива, генерируемой сверхзвуковым двухфазным горелочным устройством ГВО-2М, работающим на топливной паре керосин-воздух. В испытаниях натекание струи было под углом 30° к поверхности. В качестве абразива использовали порошок карбида кремния

SiC дисперсностью (-125+80) мкм. В качестве испытуемых материалов использовали пластины из сплава ЖС 26 и компактные композиционные материалы системы NiAl-CrB₂. Образцы композитов размерами 5*10*25 (мм) на основе интерметаллида NiAl с добавками 15 и 45% (вес.) CrB₂ были изготовлены методом горячего прессования.

Чтобы обеспечить идентичность условий эксперимента, испытания образцов проводили одновременно одним пакетом путем их многократного перемещения через пятно воздействия двухфазного высокоскоростного потока. Температура испытаний составляла T = 500 °С, а скорость потока – V = 75 мм/с. Температура поверхности образцов в момент нахождения в пятне воздействия измерялась пирометром INFRATHERM Converter IGA 100. Потерю массы при термоэрозионных испытаниях оценивали весовым методом в граммах на лабораторных весах ВЛР-200 с точностью ±0,5 мг.

Микроструктуру образцов после испытаний исследовали с помощью растрового электронного микроскопа РЕМ-106 И.

Результаты и обсуждение

Согласно проведенным исследованиям, наибольшему износу подвергается сплав ЖС 26. Потеря массы образцов из этого материала составляет 0,27 г (рис. 1).

Для разработанных композитов характерны меньшие значения интенсивностей изнашивания по сравнению с никелевым сплавом. При этом минимальный износ соответствует композиционному материалу, содержащему 15% (вес.) CrB₂.

Металлографические исследования поверхностей исследуемых материалов (рис.2) соответствуют результатам интенсивностей изнашивания.

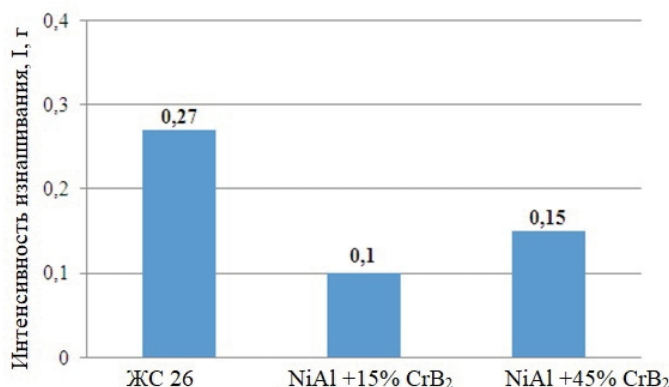


Рис. 1. Интенсивность изнашивания материалов после термоэрозионных испытаний

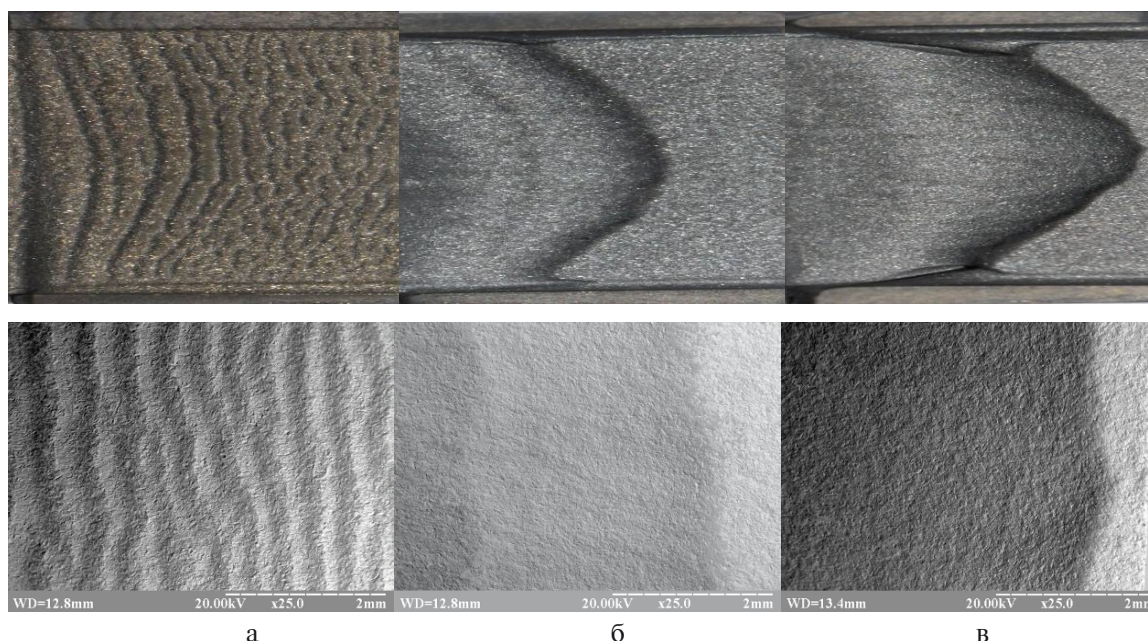


Рис. 2. Макро- и микроструктура поверхностей материалов после термоэрозионных испытаний
а – сплав ЖС 26; б – композит NiAl +15% CrB₂; в – композит NiAl +45% CrB₂

Для никелевого сплава при испытаниях под воздействием температуры и высокоскоростного потока абразивных частиц происходит деформирование образца с формированием на его поверхности волнообразного рельефа (рис. 2, 3) с длиной «волны» $l_1 \sim 0,4$ мм. Это приводит к локальным изменениям угла атаки абразива

со стороны натекания струи, т.е. угол атаки увеличивается (рис. 3, б). При этом происходит внедрение абразивных частиц на восходящих участках деформированной поверхности. При многократном перемещении таких образцов через пятно воздействия потока происходит интенсивная выработка поверхности образцов.

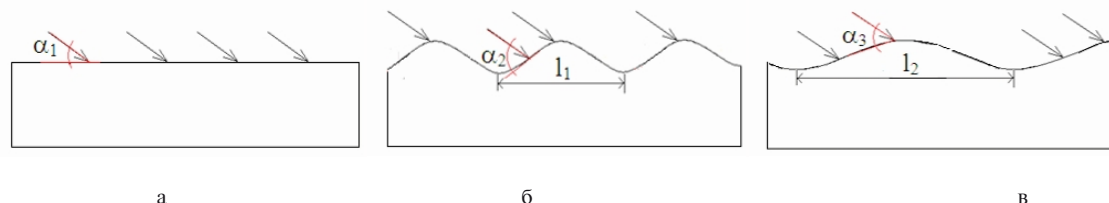


Рис. 3. Схематическое изображение процесса деформирования поверхностей образцов при высокотемпературных газоабразивных испытаниях:
а – исходная поверхность материалов; б – поверхность сплава ЖС 26;
в – поверхность композитов системы NiAl-CrB₂

В отличие от сплава ЖС 26 для композиционных материалов системы NiAl-CrB₂ деформация поверхности затруднена из-за наличия упрочняющей боридной фазы. На поверхности образцов NiAl +15% CrB₂ и NiAl +45% CrB₂ также формируется волнообразный рельеф с длиной «волны» $l_2 \sim 3,4$ мм (рис. 3, в), а, следовательно, угол $\alpha_2 \gg \alpha_3 > \alpha_1$ (1), что в результате приводит к меньшим значениям износа материалов.

Для композиционного материала NiAl + 45% CrB₂ наблюдается более интенсивная выработка поверхности по сравнению с композитом NiAl +15% CrB₂. Очевидно, такой результат связан с высокой хрупкостью материалов в данных условиях испытаний.

Также следует отметить, что для разработанных композитов характерно внедрение меньшего количества абразивных частиц в исследуемые поверхности за счет наличия упрочняющей боридной фазы.

Выводы

Исследовано влияние состава материалов на механизм их высокотемпературного газоабразивного изнашивания. Показано, что для никелевого сплава характерно интенсивное деформирование образца с формированием на его поверхности волнообразного рельефа. Для разработанных композитов процесс деформации поверхности затруднен благодаря наличию упрочняющей боридной фазы. Это способствует более высоким значениям износостойкости данных материалов.

Литература

1. Жеманюк П.Д. Структура и свойства лопаток авиационных двигателей из жаро-

прочного никелевого сплава ЖС 26-ВИ после горячего изостатического прессования [Текст] / П.Д. Жеманюк, В.В. Клочихин, Н.А. Лысенко, В.В. Наумик // Вестник двигателестроения – №1. – 2015. – С. 139-146.

2. Бунтушкин В.П. Высокотемпературные жаропрочные сплавы на основе интерметаллида Ni₃Al для деталей горячего тракта ГТД [Текст] / В.П. Бунтушкин, О.А. Базылева, В.И. Буркина // Авиационная промышленность. – №2. – 2007.

3. Барвинок В.А. Срабатываемые, износостойкие и теплозащитные покрытия для деталей газового тракта турбины, компрессора и камеры сгорания ГТД [Текст] / В.А. Барвинок, И.Л. Шитарев, В.И. Богданович, И.А. Докукина, В.М. Карасев // Авиационная и ракетно-космическая техника, Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – №3 (19) – 2009. – С.11-28.

4. Мигунов В.П. Уплотнительные материалы для проточного тракта ГТД [Электронный ресурс]: www.viam.ru/public / В.П. Мигунов, Д.П. Фарафонов, М.Л. Деговец, Т.И. Ступина. –2012.

5. Rajendran R. Gas turbine coatings – An overview [Text] / R. Rajendran // Engineering Failure Analysis, 2012. – №26, P. 355-369

6. Уманский А.П. Влияние добавок тугоплавких боридов на механизмы изнашивания плазменных покрытий на основе интерметаллида NiAl [Текст] / А.П. Уманский, Е.Н. Полярус, А.Д. Костенко, М.С. Украинец // Проблемы трибологии. – 2014. – № 1. – С. 46-52.

7. Уманский А.П. Структура и триботехнические характеристики композиционных материалов и покрытий из них на основесистемы NiAl-CrB₂ [Текст] / А.П. Уманский, Е.Н. Полярус,

М.С. Українець, Л.М. Капитанчук // Порошковая металлургия. – 2015. – № 1/2. – С. 65-73.

8. Уманський О.П. Вплив температури випробувань на триботехнічні характеристики композиційних покриттів системи NiAl-CrB₂ [Текст] / О.П. Уманський, О.М. Полярус, М.С. Українець, О.В. Кушев, О.У. Стельмах. // «Наукові нотатки». – 2013. – № 41. – Ч. 2. – С. 206-212.

9. Umanskyi O. Effect of ZrB₂, CrB₂ and TiB₂ Additives on the Tribological Characteristics of NiAl-Based Gas-thermal Coatings [Text] / O. Umanskyi, O. Poliarus, M. Ukrainets, I. Martsenyuk. // Key Engineering materials. – Vol. 604. – 2014. – P. 20-23.

Поступила в редакцію 31.05.2017 г.

О.М. Полярус, О.П. Уманський, О.У. Стельмах, Ю.І. Євдокименко, В.М. Кисіль, В.І. Субботін. Вплив складу матеріалів на механізм їх високотемпературного газоабразивного зношування

Досліджено вплив складу матеріалів на механізм та інтенсивність їх зношування при високотемпературних газоабразивних випробуваннях. Вивчено макро- та мікроструктури поверхонь матеріалів після випробувань у двофазному високошвидкісному потоці абразивних частинок карбиду кремнію при $T = 500$ °C. Показано, що для сплаву ЖС 26 при випробуваннях під впливом температури і високошвидкісного потоку абразивних частинок відбувається інтенсивне деформування зразка з формуванням на його поверхні хвиляподібного рельєфу. Для розроблених композиційних матеріалів системи NiAl-CrB₂ деформація поверхні ускладнена через наявність зміцнюючої боридної фази. При цьому найбільш високі значення зносостійкості відповідають композиту NiAl-15%CrB₂.

Ключові слова: композиційні матеріали, інтерметалід NiAl, термоерозійні випробування, високотемпературний газоабразивний знос, структура, зміцнююча боридна фаза, інтенсивність зношування.

O. Poliarus, O. Umanskyi, O. Stelmah, Yu. Evdokimenko, V. Kysil, V. Subbotin. Influence of materials composition on their high temperature erosion gas-abrasive mechanism of wear

The influence of the material composition on their wear mechanism and intensity at high-temperature gas-abrasive tests were studied. The macro- and microstructures of materials surfaces after testing in a two-phase high-velocity flow of SiC abrasive particles at $T = 500$ °C were studied. It is shown that for the nickel alloy subjected to temperature and high-velocity flow of abrasive particles, intensive deformation of the sample takes place with the formation of a wavy relief on its surface. For the developed composite materials of the NiAl-CrB₂ system, deformation of the surface is difficult by the presence of a strengthening boride phase. The highest values of wear resistance correspond to the developed NiAl-15% CrB₂ composite material.

Key words: composite materials, NiAl-intermetallic, thermal-erosion testing, high-temperature gas-abrasive wear, strengthening boride phase, structure, wear rate.