ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/172

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА НА ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ ТЕРМОБАРЬЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ Zr-O НАНЕСЕННЫХ МИКРОПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ НА МЕДНУЮ ПОДЛОЖКУ

¹Дорофеева Т.И., ¹Губайдулина Т.А., ^{1,2}Гриценко Б.П., ^{1,2}Сергеев В.П.

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия*

²*Томский политехнический университет, Томск, Россия*

dorofeeva@ispms.tsc.ru

В авиационной и аэрокосмической промышленности при производстве жидкостных ракетных двигателей уделяют особое внимание увеличению КПД, долговечности, росту мощности. В связи с этим возрастает интерес к термобарьерным покрытиям, применяемым для защиты жидкостных ракетных двигателей от коррозии и эрозии в условиях повышенных температур. Современные термобарьерные покрытия представляют собой многослойные системы, состоящие в основном из металлического связующего слоя, наносимого на подложку, и низкотеплопроводного внешнего керамического слоя. Такие покрытия отличаются повышенными эксплуатационными характеристиками [1-2]. Для формирования подобных покрытий используют различные методы, в том числе газоплазменное напыление [3], физическое осаждение из газовой фазы в вакууме [4], химическое осаждение из парогазовой смеси [5], золь-гель технологию [6] и т.д..

Цель данной работы является создание термобарьерных покрытий на основе диоксида циркония, нанесенных на медную подложку, с применением различных методов обработки поверхности, в том числе метода микроплазменного оксидирования, и изучения влияния структуры и фазового состава на термоциклическую стойкость полученных покрытий.

Область применения метода микроплазменного оксидирования ограничена вентильными металлами [7]. Для получения покрытия на основе диоксида циркония на медных подложках, предварительно вакуумно-дуговым методом наносилось покрытие из циркония толщиной 40 мкм на вакуумной установке “Квант”. Перед нанесением циркониевого покрытия поверхностный слой медных подложек наноструктурировался высокоэнергетическим потоком ионов Ti^+ [8]. Титан необходим в качестве подслоя под цирконий для предотвращения отслаивания металлического циркония от медной подложки при термоциклическом нагружении. Титан осаждался на образцах методом магнетронного напыления, питание магнетрона осуществлялось от импульсного источника с частотой повторения импульсов тока до 50 кГц и амплитудой до 5А, толщина титана – 40 мкм. Микроплазменная обработка образцов проводилась при высоковольтном импульсном воздействии в растворе силикатного электролита [9].

Полученные образцы после микроплазменного оксидирования были исследованы на сканирующем электронном микроскопе LEO EVO-50XVP. Структурно-фазовое состояние покрытий исследовали посредством рентгеноструктурного анализа (РСА) полученных с помощью дифрактометра ДРОН-7 дифрактограмм. Для проверки на термоциклическую стойкость образцы нагревали в печи до 1000 °С в течение 90 секунд с последующим резким охлаждением до комнатной температуры в воде, после каждого цикла проводилась фотосъемка поверхности образца со стороны покрытия. Испытания прекращались, когда отслаивалось более 50% покрытия. Количество циклов, которое выдерживали покрытия в ходе этих испытаний, принималось за величину их термоциклической стойкости.

Полученные образцы с оксидным покрытием имели нанопористую структуру с размерами пор до 1 мкм и состояли преимущественно из оксидов подложки (диоксид циркония) и компонентов электролита (оксид кремния). Соединения титана в покрытии не диагностируются, что свидетельствует об отсутствии микроплазменного пробоя пленки циркония в период роста оксидного покрытия.

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

Рентгеноструктурный анализ выявил, что полученные покрытия кристаллические. Основным является диоксид циркония с тетрагональной и моноклинной модификацией решетки.

При термоциклировании полученных образцов выявлено, что наличие титана положительно влияет на количество циклов, которое может выдержать покрытие, не растрескиваясь и не отслаиваясь при этом (табл. 1).

Таблица 1. Режимы формирования покрытий на различных подложках и их ТЦС.

Номер образца	Состав подложки	Режим обработки		Тип электролита	ТЦС, количество циклов
		Напряжение, В	Время, с		
1	Cu-Zr	300	60	Na ₂ SiO ₃ •9H ₂ O – 100 г/л и NaOH – 4 г/л	21
4		350			26
6					30
7		300	300	42	
8			600	75	
9			600	30	
12	Cu-Ti-Zr		300	72	
13			600	95	

Таким образом, получены слоистые оксидно-керамические покрытия комбинацией известных методов обработки (ионно-плазменная технология, вакуумно-дуговое напыление, магнетронное осаждение и микроплазменное оксидирование). Подобные покрытия характеризуются высокой адгезией, и могут выдержать 95 циклов термоциклирования без существенных разрушений и отслаивания.

Литература

1. Володин А. Ю., Заруба Д. С., Величко Н. В. Способ электролитно-плазменной обработки внутренних пространственно-сложных поверхностей различной кривизны корпусных деталей центробежных насосов ЖРД // Решетневские чтения: материалы XX Междунар. науч. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск. 2016.
2. Панин В.Е., Коротеев А.С., Сергеев В.П., Ризаханов Р.Н. В ракетном горниле. Наука из первых рук. №10. С. 87–93.
3. Hiroyuki Wakia, Akira Kobayashib Influence of the mechanical properties of CoNiCrAlY under-coating on the high temperature fatigue life of YSZ thermal-barrier-coating system // Vacuum 2008.V 83. №1. P. 171-174.
4. Hongbo Guo, Shengkai Gong, HuibinXua Evaluation of hot-fatigue behaviors of EB-PVD gradient thermal barrier coatings // Materials Science and Engineering: A. 2002. V 325/ №1–2. P. 261-269.
5. Venkatachalam Rajendran, Arumugam Karthik, Saturappan Ravisekaran, Srither Sundarmoorthy, Arunmetha Palanisamy Manivasakan Effect of high temperature on the surface morphology and mechanical properties of nanostructured $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2/\text{SiO}_2$ thermal barrier coatings // Surface and Coatings Technology. 2015. V 262. P. 154-165.
6. Drexler J.M., Shinoda K., Ortiz A.L., Li D., Vasiliev A.L., Gledhill A.D., Sampath S., Padture N.P., Air-Plasma-Sprayed Thermal Barrier Coatings that are Resistant to High-Temperature Attack by Glassy Deposits. *Acta Materialia*. 2010. V 58. № 20. P. 6835-6844.
7. Мамаев А.И., Мамаева В.А., Борилов В.Н., Дорофеева Т.И. Формирование наноструктурных неметаллических неорганических покрытий путем локализации высокоэнергетических потоков на границе раздела фаз: Учеб. Пособие. Томск: Изд-во Том. Ун-та. 2010. С. 360.
8. Fedorischeva M.V., Kalashnikov M.P., Sergeev V.P., Neufeld, V.V. Changes in the structural phase state of a copper substrate's surface layer bombarded with titanium ions. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics*. 2014. V. 78. №. 8. P. 710 -712.
9. Дорофеева Т.И., Мамаева В.А. Особенности микроплазменной обработки напыленного циркония в силикатном электролите различного состава // Физика и химия обработки материалов. 2010. № 2. С. 18– 25.