Исследование теплостойкости диоксид циркониевых покрытий, получаемых при плазменных воздействиях в электролитах

С.В. Савушкина1, М.Н. Полянский1, А.М. Борисов2, А.В. Виноградов2, В.Б. Людин2, Т.Е. Данькова1, Л.Е. Агуреев1

1Исследовательский центр имени М.В. Келдыша, г. Москва, Россия,  
 [nanocentre@kerc.msk.ru](mailto:nanocentre@kerc.msk.ru)  
2МАТИ – Российский государственный технологический университет  
 им. К.Э. Циолковского, г. Москва, Россия, [tompve-2005@yandex.ru](mailto:tompve-2005@yandex.ru)

Диоксид циркониевые покрытия часто используют в качестве верхних термобарьерных слоев теплозащитных покрытий (ТЗП) [1, 2]. Для получения ТЗП на основе диоксида циркония наиболее часто используют методы электронно-лучевого осаждения и газотермического напыления. Перспективным методом получения диоксид циркониевых покрытий является метод микродугового оксидирования (МДО) [3 – 4]. МДО позволяет получать комплекс свойств, требуемых для термобарьерных слоев ТЗП: высокую адгезию покрытия, толщину до 300 мкм, значительную пористость, а также возможность регулировать структуру и свойства покрытия выбором параметров обработки. Работы, посвященные исследованию теплопроводности и теплостойкости диоксид циркониевых покрытий, получаемых при плазменном воздействии в электролитах микродуговым оксидированием, практически отсутствуют.

В данной работе экспериментально исследованы теплостойкость и теплопроводность диоксид циркониевых покрытий толщиной ~200 мкм, полученных на цирконии методом микродугового оксидирования (МДО). Методами растровой электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа изучена структура покрытий до и после термоциклических испытаний до 2000 оС с помощью плазмотрона при тепловом потоке 107 Вт/м2. После 7 циклов по 120 секунд воздействия на МДО-покрытие плазмы они сохранили свою целостность с незначительными дефектами керамического слоя и увеличением коэффициента теплопроводности от 0.2 Вт/(м·К) после первого цикла до 0,5 Вт/(м·К) после 7 цикла. Предполагается, что увеличение теплопроводности связано с процессом твердофазного спекания, а также кристаллизацией оксида кремния в верхнем слое покрытия.

Литература

1. Slifka A.J., Filla B.J., Phelps J.M., Bancke G., Berndt C.C. // Journal of Thermal Spray Technology. V. 7. 1998. .№1. P. 43
2. Taylor R., Brandon J. R. // Surface and Coatings Technology. V. 50.1992. P. 141
3. Yerokhin A.L., Nie X., Leyland A., Matthews A., Dowey S.J. // Surface and Coatings Technology. V. 122. 1999. P. 73
4. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов/ Под общей ред. И.В.Суминова. В 2-х томах. Т.2. М.: Техносфера, 2011. 512 с
5. Apelfeld A.V., Borisov A.M., Krit B.L., Ludin V.B., Polyansky M.N., Romanovsky E.A., Savushkina S.V., Suminov I.V., Tkachenko N.V., Vinogradov A.V., Vostrikov V.G.// Surface and Coatings Technology. V. 269. 2015. P. 279

**Список авторов**

1. Борисов Анатолий Михайлович ,РФ ,Москва, МАТИ, [anatoly\_borisov@mail.ru](mailto:anatoly_borisov@mail.ru)
2. Виноградов Алексей Владимирович, РФ ,Москва, МАТИ, tompve-2005 @yandex.ru
3. Савушкина Светлана Вячеславовна, РФ ,Москва, ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», [sveta\_049@mail.ru](mailto:sveta_049@mail.ru)
4. Полянский Михаил Николаевич, РФ ,Москва, ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», [nanocentre@kerc.msk.ru](mailto:nanocentre@kerc.msk.ru)
5. Данькова Татьяна Евгеньевна, РФ , Москва, ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», [nanocentre@kerc.msk.ru](mailto:nanocentre@kerc.msk.ru)
6. Людин Валерий Борисович, РФ , Москва, МАТИ, tompve-2005 @yandex.ru
7. Агуреев Леонид Евгеньевич, РФ , Москва, ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», trynano@gmail.com

study of Heat Resistance of Zirconium Dioxide Coatings Generated by plasma treatment in electrolytes

S.V. Savushkina1, M.N. Polyansky1, A.M. Borisov2, A.V. Vinogradov2, T.E. Dankova1, V.B. Lydin2, and L.E. Agureev1

1Keldysh research center, Moscow, Russia, [nanocentre@kerc.msk.ru](mailto:nanocentre@kerc.msk.ru)  
2MATI–Russian State Technology University, Moscow, Russia, [tompve2005@yandex.ru](mailto:tompve2005@yandex.ru)

Zirconia coatings are often used as the top thermal barrier layers of thermal barrier coatings (TBS) [1, 2]. Zirconia coatings is most often formed using techniques of electron beam deposition and thermal spraying. A promising method of producing zirconia coating is a method of micro-arc oxidation (MAO) [3–5]. The coatings produced by MAO have properties required for thermal barrier layers: high adhesion, thickness of 100÷300 µm and the possibility to change the structure and properties of coatings by changing of processing parameters. The papers presented the study of thermal conductivity and thermal resistance of zirconia coatings obtained by plasma treatment in electrolytes are almost absent.

In this study the heat resistance and thermal conductivity of zirconia coating of 200 mkm thickness obtained on zirconium by micro-arc oxidation (MAO) were experimentally investigated. The structure of the coatings before and after temperature cycling tests up to 2000 °C using a 107 W/m2 heat flux of plasmatron was studied by scanning electron microscopy and X-ray diffraction. After seven cycles (in 120 s) of the coating exposure in nitrogen plasma they kept their integrity with minor defects of the ceramic layer and the thermal conductivity increased from 0.2 W/(m·K) after the first cycle to 0.5 W/(m·K) after seven cycles. The increase in thermal conductivity was assumed to be result of the solid phase caking and crystallization of silica in the upper coating layer.

References

1. Slifka A.J., Filla B.J., Phelps J.M., Bancke G., Berndt C.C. // Journal of Thermal Spray Technology. V. 7. 1998. .№1. P. 43
2. Taylor R., Brandon J. R. // Surface and Coatings Technology. V. 50.1992. P. 141
3. Yerokhin A.L., Nie X., Leyland A., Matthews A., Dowey S.J. // Surface and Coatings Technology. V. 122. 1999. P. 73
4. Suminov I.V., Belkin P.N. Apelfeld A.V., Ludin V.B., Krit B.L., Borisov A.M. Plasma electrolytic modification of the surface of metals and alloys /, ed. I.V.Suminov.M.: Technosphere, 2011. 512 pp
5. Apelfeld A.V., Borisov A.M., Krit B.L., Ludin V.B., Polyansky M.N., Romanovsky E.A., Savushkina S.V., Suminov I.V., Tkachenko N.V., Vinogradov A.V., Vostrikov V.G.// Surface and Coatings Technology. V. 269. 2015. P. 279

**List of authors**

1. Borisov Anatoly, Russia, Moscow,MATI, [anatoly\_borisov@mail.ru](mailto:anatoly_borisov@mail.ru)
2. Vinogradov Aleksey, Russia, Moscow, MATI, tompve-2005 @yandex.ru
3. Savushkina Svetlana, Russia, Moscow, Keldysh research center, [sveta\_049@mail.ru](mailto:sveta_049@mail.ru)
4. Polyansky Michail, Russia, Moscow, Keldysh research center , [nanocentre@kerc.msk.ru](mailto:nanocentre@kerc.msk.ru)
5. Dankova Tatyana Russia, Moscow, Keldysh research center, [nanocentre@kerc.msk.ru](mailto:nanocentre@kerc.msk.ru)
6. Lydin Valery, Russia, Moscow, MATI, tompve-2005 @yandex.ru
7. Agureev Leonid, Russia, Moscow, Keldysh research center, trynano@gmail.com