

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИОКСИДЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ**

А.С. Ащепкова, А.С. Жакипбекова

Научный руководитель: профессор, д. ф-м. н. Ю. Ф. Иванов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: zh.araika91@mail.ru

**IMPACT ELECTRON IRRADIATION ON THE STRUCTURE AND PHYSICO – MECHANICAL
PROPERTIES OF ZIRCONIA CERAMIC**

A.S. Ashchepkova, A.S. Zhakipbekova

Scientific Supervisor: Professor, Dr. Yu. F. Ivanov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: zh.araika91@mail.ru

***Annotation.** Currently, for the surface treatment of ceramic materials using intense pulsed light beams of low-energy electrons. This may be structural and phase transformations in surface layers of materials and changes in the structure and physico-mechanical properties. Application of radiation to the surface of the ceramic titanium film contributes to a further change in the properties of the surface layer.*

В настоящее время для поверхностной обработки керамических материалов используется облучение интенсивными импульсными пучками низкоэнергетических электронов. При такой обработке одновременно осуществляются радиационное, тепловое и ударно-механическое воздействия [1-4]. Возбуждаемые в образце тепловые поля и волны механических напряжений способны вызывать определенные структурно-фазовые превращения в приповерхностных слоях материалов и приводить к изменению физико-механических свойств материала [5]. *Целью настоящей работы* являлось установление закономерностей, имеющих место при воздействии интенсивного электронного пучка на структуру и физико-механические свойства YSZ керамики с предварительно нанесенным на ее поверхность пленки титана.

Материал и методика исследований. Для проведения исследования были использованы образцы керамики, изготовленные из гранулированного субмикронных размеров порошка диоксида циркония $ZrO_2-Y_2O_3$ (фирмы TOSOH, Япония) с добавкой 10 мол. % наноструктурированного порошка Y_2O_3 . Из полученной смеси методом SPS-спекания (компактирование и спекание в плазме искрового разряда на установке Spark Plasma Sintering Machine S515 (SPS Syntex, Токио, Япония)) были изготовлены образцы в виде таблеток диаметром ≈ 12 мм, высотой ≈ 2 мм, поверхности которых полировали до зеркального блеска для проведения наноиндентирования и микротвердометрии. На полированную поверхность образцов в вакуумной камере методом термического испарения наносили плёнку титана толщиной 0,5 мкм. Облучение системы «пленка (титан) / (YSZ керамика) подложка» осуществляли интенсивным импульсным электронным пучком на установке «СОЛО» (ИСЭ СО РАН); плотность энергии пучка электронов $E = 15$ Дж/см², частота следования импульсов 0,3 с⁻¹, число импульсов 3, длительность

импульса 200 мкс, энергия ускоренных электронов 16 кэВ. Непосредственно перед облучением система пленка/подложка нагревалась электронным пучком до температуры (800-900) °С высокочастотным потоком электронов. Оценку упругопластических свойств, а также нанотвёрдости спечённой YSZ керамики проводили на динамическом ультрамикротвердомере (наноинденторе) Shimadzu DUH-2115. Микротвёрдость H_v образцов измеряли на микротвердомерах ПМТ-3М при нагрузках P от 1,96 Н до 4.9 Н и ZHV1M (фирмы «Zwick», Германия) при $P = 1,96$ Н по стандартным методикам.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. При исследовании структуры и свойств металлизированного поверхностного слоя YSZ керамики, подвергнутой облучению электронным пучком, выявлена фрагментация поверхностного слоя сеткой микротрещин. В объёме фрагментов выделяется зёрнистая структура (рис. 1, а). Размеры фрагментов от 20 до 80 мкм. Образование фрагментированной поверхности способствует изменению механизма изнашивания поверхности керамики (уменьшению изнашивания) при работе её в узлах трения [6]. Согласно работе [2] при электронном облучении диоксидциркониевой керамики плотностью энергии пучка электронов E_s 10 Дж/см² наблюдается плавление поверхностного слоя с последующей рекристаллизацией. Результаты нашей работы подтверждают образование рекристаллизованного поверхностного слоя.

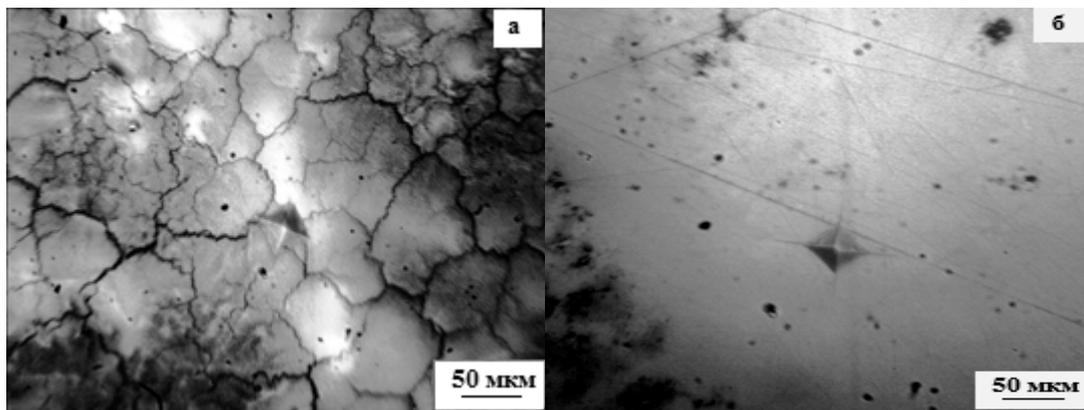


Рис. 1. Структура поверхностей YSZ керамики с изображением отпечатка пирамиды Виккерса: а) поверхность металлизированная и облученная электронным пучком (15 Дж/см², 200 мкс, 3 имп.); б) необработанная поверхность

В процессе индентирования при нагрузке на индентор 1,96 Н обнаружено, что на поверхности образцов исходной YSZ керамики наблюдаются радиальные трещины от углов отпечатка пирамиды Виккерса (рис. 1, б), что свидетельствует о высоком уровне хрупкости материала. Индентирование облученного электронным пучком образца формирования микротрещин не выявило (рис. 1, а).

В результате рентгенофазового анализа установлено, что в исходном состоянии спеченная YSZ керамика имеет кубическую кристаллическую решетку (Fm $\bar{3}$ m) с параметром $a = 0,51460$ нм. Облучение образцов керамики не изменяет фазового состава материала и типа кристаллической решетки.

Таким образом, выполнены исследования и установлено, что металлизация и облучение поверхности YSZ керамики интенсивным импульсным электронным пучком приводит к фрагментации поверхности сеткой микротрещин; уменьшению микротвердости модифицированного слоя керамики и отсутствию трещин на изображении отпечатка пирамиды Виккерса при нагрузке 1,96 Н, что может свидетельствовать об увеличении трещиностойкости поверхностного слоя материала.

Таблица 1

Результаты измерений микротвёрдости H_v и трещиностойкости K_{Ic} YSZ-керамики.

№ образца	P, Н	H_v , кгс/мм ²		K_{Ic} МПа м ^{1/2}
		Исходный	Облученный	Исходный
1	1,96	1189	766	3.42
2	1,96	1517	958	2.03

Примечание: P, Н нагрузка индентирования

Таблица 2

Упруго-пластические характеристики образцов YSZ-керамики

YSZ, № образца	F_{max}	h_{max}	h_p	h_r	Hit	Eit	Cit	nit	H_v
	мН	мкм	мкм	мкм	Н/мм ²	Н/мм ²	%	%	
1 исходный	101.03	0,5936	0,3162	0,4017	20395,04	2,32E+05	1,275	50,568	1927
1 облученный	101,4	0,6324	0,3694	0,4446	17131,3	2,15E+05	2,668	46,204	1618
2 исходный	100,95	0,5978	0,3282	0,4018	20277,87	2,26E+05	2,507	49,64	1916
2 облученный	101,32	0,6243	0,3475	0,4215	18549,74	2,05E+05	3,62	47,042	1752

Примечание: в таблице приведены следующие обозначения: F_{max} – максимальная нагрузка измерения; h_{max} – максимальная глубина вдавливания; h_p – величина ("высота") пластической деформации; h_r – величина ("высота") упругой деформации; Hit – твёрдость вдавливания; Eit – модуль вдавливания (модуль Юнга); Cit – коэффициент текучести - (перемещение от мгновенного до стационарного режима вдавливания, отнесённое к мгновенному); nit – относительная величина упругой составляющей работы деформации от полной работы деформации (упругой+пластической); H_v – твёрдость по Виккерсу.

Работа выполнена при поддержке Госзадания «Наука», проект №533.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кадыржанов К. К., Комаров Ф. Ф., Погребняк А. Д., Русаков В. С., Туркебаев Т. Э. Ионно-плазменная и ионно-лучевая модификация материалов. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 640 с.
2. Иванов Ю. Ф., Толкачев О. С., Тересов А. Д. и др. Моделирование тепловых процессов, структурно-фазовое состояние и свойства диоксида циркония, облученного высокоинтенсивным импульсным электронным пучком. // Изв. вузов. Физика. – 2015. – Т. 58. - №6/2. - С.91-95.
3. Суржиков А.П., Франгульян Т.С., Гынгазов С.А., Васильев И.П. Действие сильнофокусированного импульсивного электронного пучка низкоэнергетических электронов на приповерхностные слои пористой циркониевой керамики. // Письма в ЖТФ. – 2014. – Т. 40. – вып. 17. – С. 78 – 85.
4. Бурдовицин В.А., Двилис Э.С., Медовник А.В. и др. Структура поверхности алюмооксидной керамики при облучении импульсивным электронным пучком. // Журнал технической физики. – 2013. – Т. 83. – вып. 1. – С. 117- 121.
5. Суржиков А.П., Франгульян Т.С., Гынгазов С.А. и др. Изменение микротвердости ферритовой керамики при облучении сильнофокусированным импульсивным пучком низкоэнергетических электронов // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. - №7. – с. 23- 27.
6. Гынгазов С.А., Суржиков А.П., Франгульян Т.С., и др. Патент РФ № 2287503.