

**ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ АЛЮМИНИЯ**

И.П. Васильев, С.А. Гынгазов, А.В. Чернявский

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А.П. Суржиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [zarkvon@tpu.ru](mailto:zarkvon@tpu.ru)

**DEFORMATION CHARACTERISTICS OF THE NEAR-SURFACE LAYERS OF ZIRCONIUM CERAMICS IMPLANTED with IONS OF ALUMINUM**

I.P. Vasiliev, S.A. Ghyngazov, A.V. Chernyavskii

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.P. Surzhikov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenina ave., 30, 634050

E-mail: [zarkvon@tpu.ru](mailto:zarkvon@tpu.ru)

*The effect of ion treatment on the phase composition and mechanical properties of the near-surface layers of zirconium ceramic composition 97 ZrO<sub>2</sub>-3Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (mol%) was studied. Irradiation of the samples was carried out by accelerated ions of aluminum with using vacuum-arc source Mevva 5-Ru. Ion beam had the following parameters: the energy of the accelerated ions  $E = 78$  keV, the pulse current density  $J_i = 4$  mA / cm<sup>2</sup>, current pulse duration equal  $\tau = 250$  mcs, pulse repetition frequency  $f = 5$  Hz. Exposure doses (fluence) were  $10^{16}$  u  $10^{17}$  ion/cm<sup>2</sup>. The depth distribution implanted ions was studied by SIMS method. It is shown that the maximum projected range of the implanted ions is equal to 250 nm. Near-surface layers were investigated by X-ray diffraction (XRD) at fixed grazing incidence angle. It is shown that implantation of aluminum ions into the ceramics does not lead to a change in the phase composition of the near-surface layer. The influence of implanted ions on mechanical properties of ceramic near-surface layers was studied by the method of dynamic nanoindentation using small loads on the indenter  $P=300$  mN. It is shown that in ion-implanted ceramic layer the processes of material recovery in the deformed region in the unloading mode proceeds with higher efficiency as compared with the initial material state. The deformation characteristics of samples before and after ion treatment have been determined from interpretation of the resulting  $P-h$  curves within the loading and unloading sections by the technique proposed by Oliver and Pharr. It was found that implantation of aluminum ions in the near-surface layer of zirconia ceramics increases nanohardness and reduces the Young's modulus.*

Ионно-радиационная обработка уже нашла широкое применение для модифицирования механических свойств поверхности металлов и сплавов [1-4] и представляет значительный интерес для обработки керамики инструментального и конструкционного назначений. Проведенные нами исследования показали [5], что при обработке циркониевой керамики мощным импульсным пучком ускоренных ионов углерода происходит снижение твердости и увеличение пластичности ее приповерхностных слоев. В данной работе ставилась задача изучить влияние облучения ускоренными ионами алюминия на механические характеристики приповерхностных слоев циркониевой керамики.

## «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

В исследованиях использовалась циркониевая керамика состава (моль%)  $97\text{ZrO}_2\text{-}3\text{Y}_2\text{O}_3$ . Облучение образцов осуществлялось ускоренными ионами алюминия с использованием вакуумно-дугового источника Mevva-5. Ru[6]. Ионный пучок имел следующие параметры: энергия ускоренных ионов  $E=78$  кэВ, плотность тока в импульсе  $J_i=4\text{mA/cm}^2$ , длительность импульса  $\tau=250$  мкс, частота следования импульсов  $f=5$  Гц. Флюенс ионного облучения составлял  $f = 10^{16}$  и  $10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>.

На рис. 1 представлен измеренный методом ВИМС глубинный профиль распределения имплантированных в образец ионов  $\text{Al}^+$  при дозе облучения  $10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>.

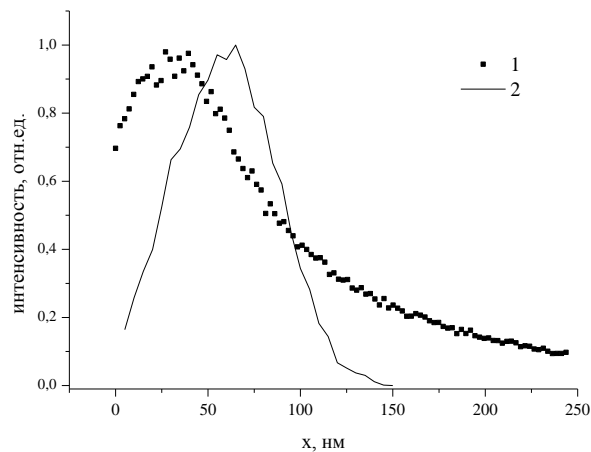


Рис. 1. Профиль распределения имплантированных ионов Al (флюенс  $10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>) в образце  $\text{ZrO}_2$ : 1 – экспериментальные данные; 2 – численный расчет методом Монте-Карло (программа TRIM)

Максимальная глубина внедрения ионов алюминия в образец достигала 250 нм (рис.1). Смещение максимума экспериментальной кривой глубинного распределения относительно расчетной кривой можно объяснить распылением поверхности материала.

Съемка рентгенограмм в геометрии скользящего пучка рентгеновских лучей [7] показала, что ионная имплантация не изменяла фазовый состав обрабатываемой поверхности керамики.

На рис. 2 а,б представлены типичные P-h диаграммы, отображающие процесс индентации керамики до и после ионного облучения.

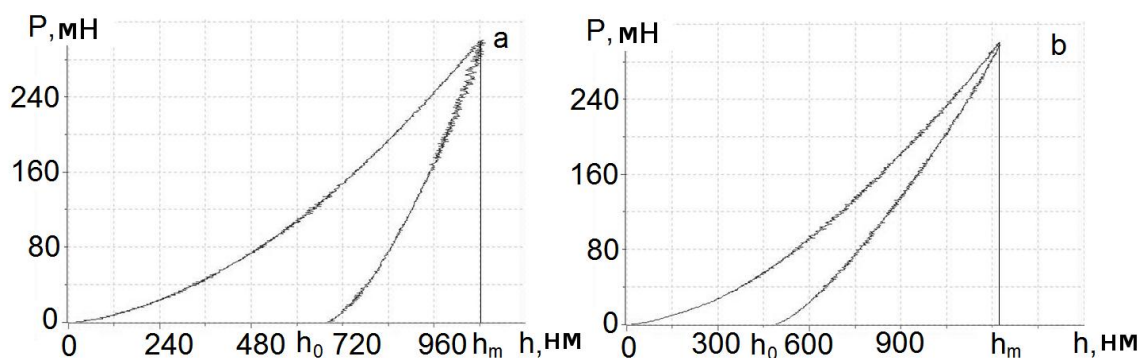


Рис.2 P-h диаграммы приповерхностных слоев циркониевой керамики до (а) и после (б) облучения ионами  $\text{Al}^+$  ( $f=10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>).

Из рис.2 видно, что остаточная глубина отпечатка  $h_0$  после поднятия индентора значительно отличается от максимальной глубины внедрения индентора  $h_m$ . Данный факт указывает на активное протекание процессов восстановления материала в деформируемой области в режиме разгрузки.

## «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

Вклад их в изменение размера отпечатка можно оценить параметром  $\alpha = h_m - h_0/h_m$ . Определенные по методике Оливера и Фара [8] нанотвердость Н и модуль Юнга Е, приведены в таблице 1

Таблица 1

*Деформационные характеристики приповерхностных слоев керамики до и после ионной обработки*

флюенс	Н, ГПа	Е, ГПа	$\alpha$	Н/Е	$H^3/E^2$ , ГПа
0	12 <sub>2</sub>	214	0 <sub>2</sub> 36	0,057	0 <sub>2</sub> 04
$f=10^{16}$ ион/ см <sup>2</sup> .	15 <sub>2</sub> 5	106	0 <sub>2</sub> 58	0,146	0 <sub>2</sub> 33
$f=10^{17}$ ион/ см <sup>2</sup>	15 <sub>2</sub> 2	97	0 <sub>2</sub> 61	0 <sub>2</sub> 156	0 <sub>2</sub> 37

Анализ приведенных на рисунке 2 кривых Р-*h* и данных, представленных в таблице 1, показал, что ионная обработка существенно стимулирует протекание процессов восстановления материала в деформируемой области после поднятия индентора. Проведенные исследования показали, что имплантация ионов алюминия в приповерхностный слой циркониевой керамики приводит к увеличению нанотвердости, уменьшению модуля Юнга, а также увеличению параметров Н/Е и  $H^3/E^2$ , характеризующих, как известно [9], стойкость материала к упругой и пластической деформации, соответственно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диденко А.Н., Лигачев А.Е., Куракин И.Б. Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов. М.: Энегтоатомиздат, 1987. – 186с.
2. Анищик В.М., Углов В.В. Модификация инструментальных материалов ионными и плазменными пучками. МН.: Изд-во БГУ, 2003. – 191с.
3. Ионно-лучевая обработка металлов, сплавов и керамических материалов / А.В. Белый, В.А. Кукаренко, О.В.Лободаева, И.И.Таран, С.К.Ших.-Минск: Физико-технический институт, 1998.-220 с.
4. Белый А.В., Кукаренко В.А., Патенюк А. Инженерия поверхности конструкционных материалов концентрированными потоками ионов азота. - Минск: Беларус. Наука, 2007. – 244 с.
5. Ghyngazov S.A. , Vasil'ev I.P., Surzhikov A.P., Frangulyan T.S., Chernyavskii A.V. Ion processing of zirconium ceramics by high\_power pulsed beams // Technical Physics. – 2015. – Vol. 60(1). – P.128–132.
6. Nikolaev A.G., Oks E.M., Savkin K.P. Yushkov G.Yu., Brown I.G., Upgraded vacuum arc ion source for metal ion implantation// The Review of scientific instruments – 2012 V. - 83 Issue: 2 Pages: 02A501
7. Иванов А.Н., Ягодкин Ю.Д. Рентгеноструктурный анализ поверхностного слоя (обзор) Заводская лаборатория –2000.- Т.66. - №5. С. 24-34.
8. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for deterring hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // Journal of Materials Research. - 1992. - V.7. - N 6. - P.1564-1583.
9. Leyland A., Matthews A. On the significance of the H/E ratio in wear control: a nanocomposite coating // Wear. - 2000. - V.246. - № 1-2. P.1-11.