

**ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА
КЕРАМИКИ Al_2O_3**

В. Костенко

Научный руководитель: ведущий научный сотрудник, д.т.н. С.А. Гынгазов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: kostenkova@tpu.ru

**THE INFLUENCE OF PULSED ION IRRADIATION ON MECHANICAL PROPERTIES OF
CERAMICS Al_2O_3**

V. Kostenko

Scientific Supervisor: leading researcher, Dr. S.A. Ghyngazov

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

E-mail: kostenkova@tpu.ru

***Abstract.** The effect of high-power pulsed carbon ions beams on the strength properties of Al_2O_3 ceramics was investigated. Ion irradiation was carried out on a TEMP-4M pulse accelerator. It was found that at the current density of the ion beam of 15 A/cm², the energy density in the pulse of 0.3 j/cm² with the number of pulses from 20 to 300 there is an increase in nanohardness and modulus of elasticity by an average of 13%.*

Введение. Керамические материалы на протяжении многих десятилетий привлекают к себе внимание повышенными эксплуатационными свойствами по сравнению с металлами и сплавами. При создании конструкционных деталей сложной формы керамические материалы подвергаются неоднократной механической обработке. Данный процесс является энергозатратным и приводит к повышению стоимости конечных изделий. К тому же механическая обработка керамики может привести к понижению прочностных свойств. Метод ионного облучения может рассматриваться в качестве альтернативы традиционным методам поверхностной обработки и упрочнения керамических материалов. Обработка керамики интенсивными пучками электронов или ионов приводит к изменению фазового и химического составов приповерхностного слоя, структурированию поверхности в результате перекристаллизации зерен [1].

Для изучения механизмов радиационного модифицирования керамических материалов представляет интерес исследовать воздействие мощных импульсных ионных пучков (МИИП) на керамическую структуру керамических материалов с высокими механическими характеристиками, устойчивых к изменению фазового состава. Таким материалом является корундовая керамика, которая находит широкое применение в науке и технике.

Целью настоящей работы является изучение влияния мощных импульсных ионных пучков углерода на прочностные свойства приповерхностных слоев керамики Al_2O_3 .

Материалы и методы исследования. Объектом исследования являлась полированная корундовая подложка. Образцы размером 1 см² вырезались из керамической подложки.

Облучение корундовой керамики проводили на импульсном ускорителе ионов ТЕМР-4М [2]. Ионный пучок имел состав: ионы углерода (C^+ , C^{n+}) и протонов (H^+) в соотношении 85%/15%. Параметры пучка: ускоряющее напряжение 180 кэВ, длительность импульса 100 нс, плотность ионного тока j 15 и 85 А/см², плотность энергии в импульсе W_i 0,3 и 1,5 Дж/см². Воздействие МИИП на прочностные свойства керамики исследовалось в зависимости от плотности ионного тока и плотности энергии пучка. Плотность энергии, воздействующая на поверхность образцов, изменялась количеством импульсов N . Число импульсов N варьировалось от 3 до 300.

Исследование изменения нанотвердости H_{IT} , эффективного модуля упругости E_{IT}^* материала до и после ионного облучения проводили с помощью прибора NanoTest 600. Индентором служила пирамида Берковича. Измерения проводились в диапазоне нагрузок от 1 до 100 мН.

Результаты и их обсуждение. Во время наноиндентирования по методу Оливера-Фара [3] экспериментально определены нанотвердость и эффективный модуль Юнга корундовой керамики. По полученным результатам построены графики зависимости изменения H_{IT} керамики от параметров ионного пучка по глубине образца (Рис. 1).

При максимально приложенной нагрузке $P_{max}=100$ мН глубина проникновения индентора не превышает 1 мкм (Рис.1). Облучение керамики при $j=15$ А/см² с числом импульсов N 20, 100 и 300 приводит к повышению H_{IT} и E_{IT} на 13% по сравнению с исходными значениями (Рис. 1а).

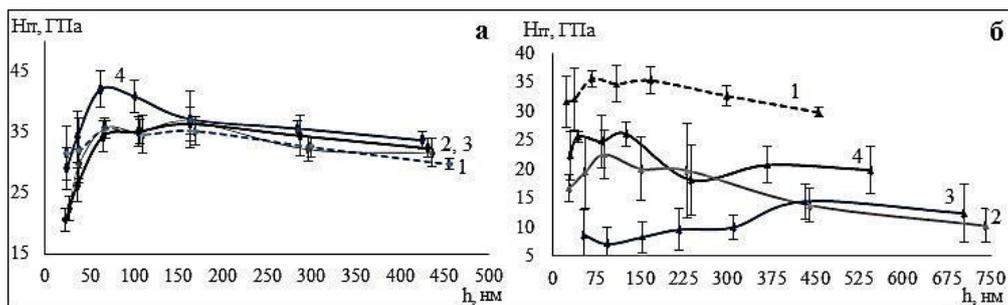


Рис. 1. Изменение нанотвердости керамики по глубине до и после воздействия МИИП (кривая 1 – нанотвердость до ионного облучения, кривые 2-4 – после облучения.):

$$a - j=15 \text{ А/см}^2, W_{N=1}=0,3 \text{ Дж/см}^2, N=20, 100, 300;$$

$$б - j=85 \text{ А/см}^2, W_{N=1}=1,5 \text{ Дж/см}^2, N=3, 10, 30$$

Полученные результаты могут быть объяснены в рамках представленных рассуждений в работе [4]. В данной работе изменение прочностных свойств связывают с тепловым характером воздействия МИИП на керамику, которое сопровождается высокой скоростью нагрева и последующей рекристаллизацией приповерхностных слоев материала.

Для количественной оценки стойкости керамики к упругой деформации разрушения использовалась величина отношения твердости к модулю упругости, H/E , которая называется индексом пластичности материала, а для оценки сопротивления керамики пластической деформации - параметр H^3/E^2 . В качестве параметра, характеризующего прочность поверхностного слоя, связанного с упругим восстановлением свойств при индентировании, использовался параметр упругого восстановления R [5].

Увеличение плотности тока ионного пучка до 85 А/см² приводит к уменьшению прочностных свойств корундовой керамики (Табл. 1). Воздействие МИИП на керамику приводит к температурному

градиенту, в результате чего происходит образование трещин, также облучение может сопровождаться эрозийным процессом, тем самым приводя к понижению прочностных свойств.

Таблица 1

Прочностные свойства керамики Al_2O_3 до и после ионного облучения

P_{\max} , МН	Плотность тока j , А/см ²	Количество импульсов N	h_{\max} , нм	H/E	R, %	H^3/E^2 , ГПа
100	-	-	455	0,06	28	0,10
	15	20	436	0,05	26	0,09
		100	431	0,05	27	0,09
		300	425	0,05	28	0,10
	85	3	704	0,03	14	0,01
		10	741	0,03	12	0,01
		30	545	0,05	20	0,04
20	-	-	169	0,10	28	0,34
	15	20	163	0,09	26	0,32
		100	163	0,09	27	0,32
		300	163	0,10	40	0,34
	85	3	310	0,04	14	0,02
		10	230	0,07	12	0,08
		30	237	0,06	20	0,08

Заключение. При плотностях ионного тока порядка 15 А/см² наблюдается увеличение нанотвердости и модуля упругости приповерхностных слоев керамики Al_2O_3 . Наибольшее увеличение составляет около 13%. При более высоких плотностях тока ионов прочностные свойства уменьшаются.

Изменение твердости облученной поверхности керамики происходит из-за одновременного влияния конкурирующих микроструктурных изменений при повторных переплавах и эрозийных процессах во время радиационного воздействия. При подборе режимов облучения можно добиться упрочнения керамики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ghyngazov, S.A. Zirconia ceramics processing by intense electron and ion beams. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B, vol. 435, pp. 190-193.
2. Davis, H A, Remnev, G E, Stinnett, B W, Yatsui, K. (1996). Intense ion-beam treatment of materials. MRS Bulletin, no. 21, pp. 58–62.
3. Oliver, W.C., Pharr, G.M. (2004). Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advanced in understanding and refinements to methodology. Journal of Materials Research, vol. 19, no. 1, pp. 3-20.
4. Ghyngazov, S.A., Vasil'ev, I.P., Surzhikov, A.P., Frangulyan, T.S., Chernyavskii, A.V. (2015). Ion processing of zirconium ceramics by high-power pulsed beams. Technical Physics, vol. 60, no. 1, pp. 128-132.
5. David, J., Hayes, R., Hui, J., Nay, R. (2016). Nanoindentation as an alternative to mechanical abrasion for assessing wear of polymeric automotive coatings. Journal of Coatings Technology and Research, vol. 13, no. 4, pp. 677–690.