

«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБИДА БОРА, ОБЛУЧЕННОЙ
ИНТЕНСИВНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ.А.С. Братухина, М.С. Петюкевич, В.В. Полисадова

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: nastenkax@sibmail.comTHE SURFACE STRUCTURE OF CERAMICS BASED ON BORON CARBIDE
IRRADIATED WITH AN INTENSE ELECTRON BEAM.A.S.Brutukhina, M.S. Petyukevich, V.V.Polisadova.

Scientific Supervisor: Prof., Y.F. Ivanov

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

E-mail: nastenkax@sibmail.com

B₄C ceramic samples were obtained by Spark Plasma Sintering powder of submicron (0.8 μm) in size with the addition of 10 wt. % nanopowder. Ceramic modification of the surface carried out an intense electron beam; formation of nonporous layer with the polycrystalline structure plate-type identified.

Карбид бора, благодаря высоким значениям твердости и упругих постоянных при низком удельном весе (2,52 г/см³), высокой температуре плавления $T_{пл} = 2445$ °С, нашел применение как материал гражданского так и военного назначения [1]. Сдерживающим фактором более широкого применения изделий из карбида бора является его низкая трещиностойкость. Известно, что многократное повышение эксплуатационных характеристик керамических материалов, в том числе и керамики из карбида бора, может быть достигнуто созданием наноразмерной однородной структуры с предельной плотностью [2]. Быстро развивающимся методом модификации структуры металлов и сплавов, металлокерамических и керамических материалов, позволяющим формировать многофазные наноструктурированные поверхностные слои, является метод, основанный на использовании низкоэнергетических интенсивных электронных пучков [3]. Сверхвысокие скорости (до 10⁹ К/с) нагрева до температур плавления и последующего охлаждения тонкого поверхностного слоя материала (10⁻⁷–10⁻⁸ м), формирование предельных градиентов температуры (10⁷–10⁸ К/м), обеспечивающих охлаждение поверхностного слоя за счет теплоотвода в интегрально холодный объем материала со скоростью (10⁴–10⁹) К/с создают условия для образования в поверхностном слое аморфной, нано- и субмикроструктурной структуры [3]. Использование низкоэнергетических интенсивных электронных пучков позволяет целенаправленно изменять рельеф поверхности, элементный состав и структурно-фазовое состояние поверхностного слоя материала, что может приводить к значительному изменению электрофизических, физико-химических и механических свойств, недостижимому при традиционных методах поверхностной обработки.

Цель настоящей работы состояла в выявлении и анализе закономерностей преобразования структуры и фазового состава поверхностного слоя керамики из карбида бора, облученной низкоэнергетическим интенсивным электронным пучком.

«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

Материал и методика исследований. Керамические образцы для исследований в форме параллелепипеда с размерами 35×4,5×4,5 мм были изготовлены методом SPS спекания на установке Labox-1575 (Sinter Land) в Институте гидродинамики СО РАН (г. Новосибирск) при давлении прессования 30 МПа и температуре ~1950 °С. Для изготовления образца был использован порошок В₄С субмикронных (средний размер частиц порошка 0,8 мкм) размеров с добавкой 10 мас. % нанопорошка карбида бора. После спекания образцы последовательно шлифовали и полировали алмазными пастами до шероховатости Ra ≈ 0,025 мкм. Одна часть образцов подвергалась химическому травлению для выявления элементов структуры поверхности; другая часть образцов облучалась низкоэнергетическим интенсивным электронным пучком. Облучение проводили на установке SOLO (ИСЭ СО РАН) при давлении остаточного газа (аргон) в рабочей камере 10⁻² Па пучком электронов со следующими параметрами: энергия электронов U = 15 кэВ, плотность энергии пучка электронов 5 Дж/см², длительность импульса 100 мкс, частота следования импульсов 0,3 с⁻¹. Диаметр отпечатка пучка электронов ≈ 5 см. Исследование морфологии, фазового и элементного состава керамики до и после облучения электронным пучком осуществляли, используя аналитическое оборудование Нано-центра Томского политехнического университета: сканирующий электронный микроскоп JEOL SEM-7500FA, дифрактометр Shimadzu XRD-7000, сканирующий зондовый микроскоп Integra Aura. Потеря массы образца Δm при испарении керамики в процессе воздействия электронного пучка контролировалась путем взвешивания образца на аналитических весах.

Результаты исследования и их обсуждение. Для выявления морфологических особенностей поверхности керамики перед облучением электронным пучком был приготовлен шлиф, изображение структуры которого представлено на рис. 1а.

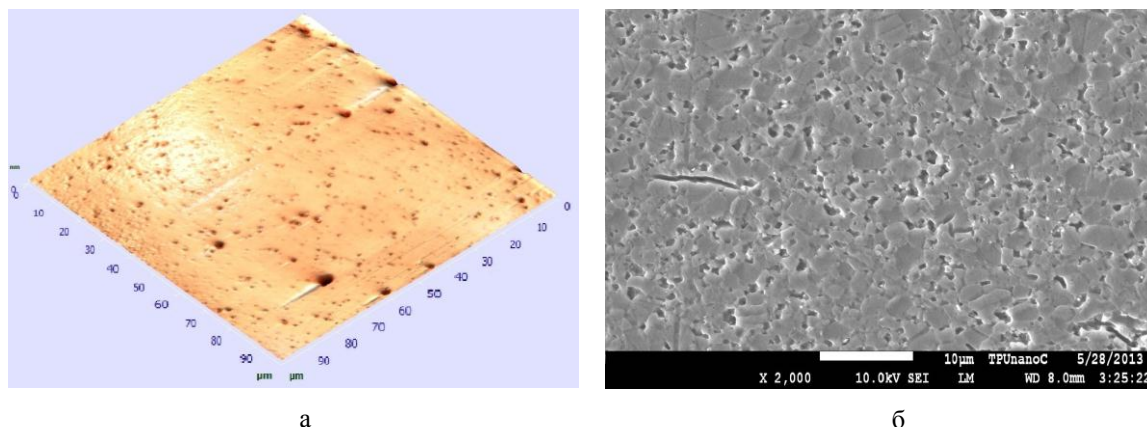


Рис. 1. а – структура исходной поверхности образца после шлифовки и полировки (снимки получены на установке Интегра-Аура); б – изображение микроструктуры поверхности керамики, выявленной травителем Мураками (сканирующая электронная микроскопия).

Травление, выполненное с использованием травителя Мураками [4], выявило пористую структуру (рис. 1б). Поры сконцентрированы в межзеренном пространстве. Зерна имеют преимущественно равноосную форму. Размеры зерен изменяются в пределах от 1,5 мкм до 6 мкм. В крупных зернах в поле шлифа выявляется двойниковая структура.

Облучение керамики интенсивным электронным пучком привело к фрагментации поверхности образцов сеткой трещин (рис. 2а). Размеры фрагментов изменяются в пределах (20–60) мкм. Очевидно,

«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

что образование сетки трещин обусловлено механическими напряжениями, возникающими при высокоскоростном охлаждении поверхностного слоя, имеющем место при облучении материала электронным пучком [3]. Сравнивая изображения поверхностей керамики в исходном состоянии (рис. 1) и после облучения электронным пучком (рис. 2), можно отметить, что электронно-пучковая обработка приводит к формированию беспористой поликристаллической структуры. Зерна имеют неравноосную форму: продольные размеры зерен изменяются в пределах (2–4) мкм; поперечные – (0,5–0,8) мкм.

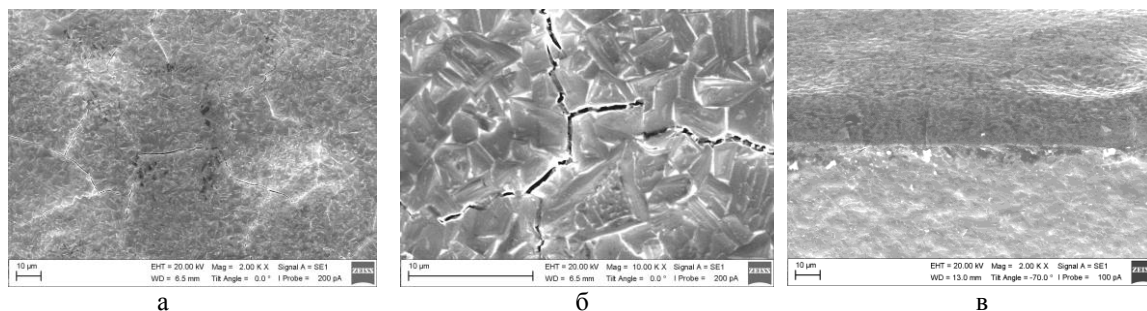


Рис. 2. Структура керамики после электронно-пучковой обработки; а, б – поверхность облучения; в – структура поперечного скола облученного образца.

В объеме зерен наблюдается пластинчатая структура (поперечные размеры пластин – (0,1–0,4) мкм). На границах зерен располагаются прослойки второй фазы (по результатам РФА - это CaB_6) толщиной 0,10–0,13 мкм. Анализ поперечных изломов (рис. 2в) образцов, облученных электронным пучком, показал, что толщина модифицированного слоя ≈ 15 мкм. Между модифицированным слоем и матрицей просматривается переходной слой толщиной ≈ 8 мкм с пористой структурой и развитой системой трещин. По поверхности скола матрицы неравномерно распределены частицы второй фазы округлой формы с размерами (0,2–0,6) мкм (рис. 2в). Результаты РФА облученной керамики по сравнению с исходной показали незначительное увеличение параметров кристаллической решетки карбидной фазы, уменьшение размеров ОКР и величины микронапряжений.

Заключение. Выполнены исследования и установлено, что облучение поверхности керамики карбида бора интенсивным электронным пучком приводит к формированию беспористой поликристаллической структуры пластинчатого типа, для которой характерно значительное количество двойников с развитой системой полос скольжения [1]. Возникновение такой структуры предполагает высокую микропластичность керамики B_4C .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кислый П.С., Кузнецова М.А. Карбид бора. – Киев: Наукова думка, 1988. – 216 с.
2. Иванов В.В., Кайгородов А.С., Хрустов В.Р. Прочная керамика на основе оксида алюминия, получаемая с использованием магнитно-импульсного прессования нанопорошков // Российские нанотехнологии. – 2006. – № 1-2.
3. Иванов Ю.Ф., Коваль Н.Н. Наноструктурирование поверхности металлокерамических и керамических материалов при импульсной электронно-пучковой обработке // Известия вузов. Физика. – 2007. – № 10/3 (Спец. выпуск). С. 29.
4. Хасанов О.Л., Петюкевич М.С., Братухина А.С. Влияние физических свойств порошка B_4C на прочностные свойства керамики, полученной SPS спеканием // Известия вузов. Физика. – 2014 – Т. 57 – №. 9/3. – С. 249-253.