

Топография поверхности и элементный состав кратеров на поверхности тугоплавких металлов

А.Е. Лигачев^{1,}, М.В. Жидков², Г.В. Потемкин³, Г.Е. Ремнев³, В.А. Тарбоков³*

¹*ФИЦ Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва, Россия*

²*ФИЦ Проблем химической физики и медицинской химии РАН, Черноголовка, Россия*

³*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия*

**carbin@yandex.ru*

Аннотация. Изучена топография поверхностного слоя тантала, молибдена, вольфрама, и пирогرافита после облучения импульсным ионным (С⁺) пучком на ускорителе ТЕМП – 4М (пучки ионов 70%С⁺ + 30% Н⁺, энергия ионов КэВ, длительность импульса ~100 нс плотность ионного тока ~130 А/см², воздействие – 1 импульс). После облучения в приповерхностном слое изменяется топография поверхности – формируются кратеры преимущественно округлой формы. Элементный состав приповерхностного слоя облучаемых материалов после воздействия ионного пучка не изменяется.

Ключевые слова: тугоплавкие металлы, мощный импульсный ионный пучок.

1. Введение

Так как до настоящего времени нет единого понимания механизма возникновения кратеров на поверхности металлов и сплавов после воздействия на них мощных импульсных ионных пучков (МИИП), то необходимо продолжить изучение процессов взаимодействия МИИП с поверхностью тугоплавких металлов. Ранее были выполнены эксперименты по воздействию МИИП ионов углерода на поверхность магния [1], сплавов титана [2, 3], нержавеющей стали [4, 5]. Поэтому необходимы дальнейшие экспериментальные исследования влияния МИИП на приповерхностный слой металлов и сплавов, имеющих различную температуру плавления и теплофизические свойства.

В настоящей работе представлены результаты исследования топографии поверхности тантала, молибдена, вольфрама и пирогرافита, после ее обработки МИИП.

2. Методика эксперимента

В качестве объекта исследований были выбраны образцы вольфрама (99.9% W), тантала (99% Ta), молибдена (98.5% Mo) в виде фольг толщиной 100 мкм (фольга для исследований предоставлена с. н. с. ЦЕНИ ИОФ РАН Ашкинази Е. Е.), поверхность которых шлифовалась и полировалась до «зеркального блеска». Пластины пирогرافита имели размеры 8×8×1 мм. Облучение одиночными импульсами проводили на ускорителе «ТЕМП» [1] потоком ионов Сⁿ⁺ при энергии 200 кэВ, длительности импульса ~100 нс и плотности тока в импульсе 130-150 А/см². Плотность энергии одиночного импульса составляла ~ 2.2 Дж/см².

Стабильность режимов облучения от импульса к импульсу обуславливается в основном разбросом ускоряющего напряжения на диоде и, соответственно, разбросом плотности ионного тока в магнитоизолированном диоде. В совокупности эти и, в меньшей степени, другие факторы определяют стабильность параметров плотности тока от импульса к импульсу в пределах ±10%. Следует отметить, что применяемый в работе метод плазмообразования в диоде [1] не приводит к снижению плотности тока и ее разбросу с увеличением числа импульсов после серии тренировочных выстрелов.

Топографию поверхности после ионно-лучевой обработки исследовали с помощью сканирующего растрового электронного микроскопа TESCAN MIRA и конфокального сканирующего лазерного микроскопа Optelics Hybrid (LaserTec).

3. Результаты исследований

Согласно данным микроскопии, после воздействия МИИП поверхность образцов всех материалов (Mo, Ta, W и пирографит) заполнена дефектами – кратерами округлой и неправильной формы. На поверхности вольфрама преимущественно преобладают многокольцевые кратеры (Рис. 1). Рельеф поверхности таких кратеров достаточно гладкий, при этом в центре кратера после воздействия МИИП может образовываться отверстие округлой формы (глубиной не более 100–200 нм) (стрелки 3, 5, 4 на Рис. 1б). Средний размер (диаметр) кратера варьируется от 2 до 10 мкм.

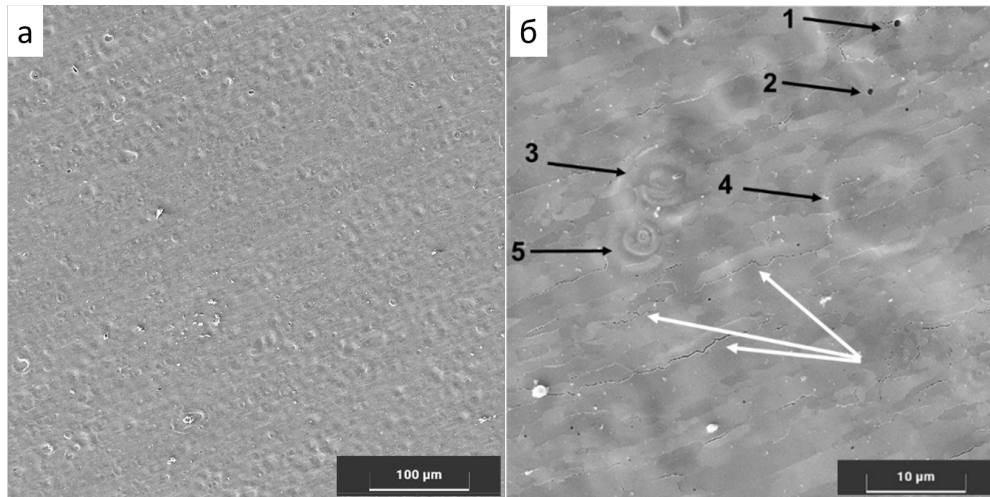


Рис. 1. Топография поверхности вольфрама после воздействия МИИП (растровый электронный микроскоп).

Такие же округлые кратеры образуются на поверхности тантала (Рис. 2, темные точки), а на поверхности вольфрама помимо кратеров возникают трещины (Рис. 3).



Рис. 2. Изображение поверхности тантала (конфокальный оптический лазерный микроскоп) после воздействия на нее МИИП.

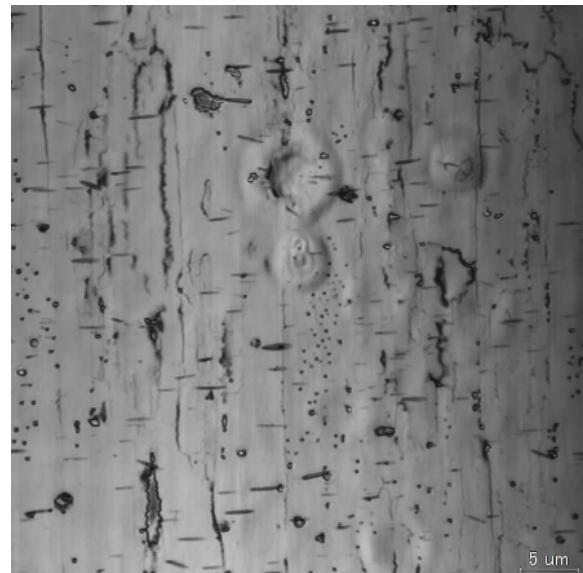


Рис. 3. Изображение поверхности вольфрама (конфокальный оптический лазерный микроскоп) после воздействия на нее МИИП.

На поверхности молибдена кроме трещин (Рис. 4а), как и на поверхности тантала и вольфрама, также формируются кратеры округлой формы (Рис. 4б).

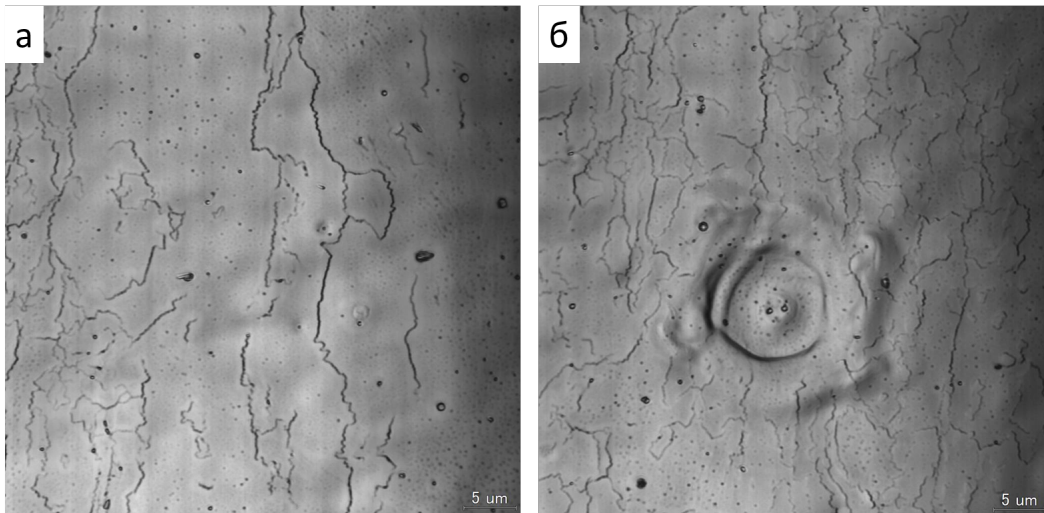


Рис. 4. Топография поверхности вольфрама после воздействия МИИП (растровый электронный микроскоп).

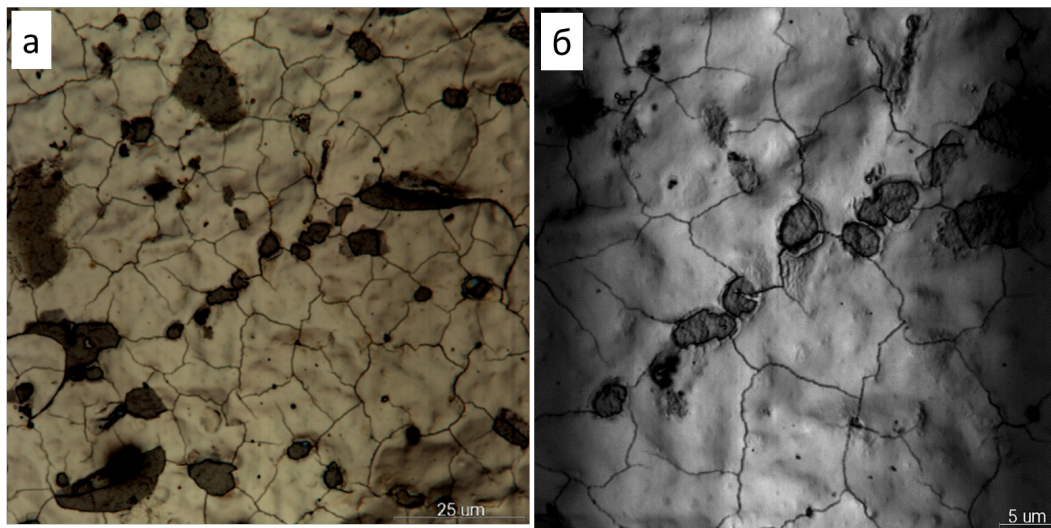


Рис. 5. Топография поверхности вольфрама после воздействия МИИП (растровый электронный микроскоп).

Что касается пирографита, то его состояние поверхности после ее облучения существенно иное (Рис. 5). Кратеры формируются только на границе зёрен (пластинок) из которых сформирован пирографит методом осаждения из газовой фазы. Форма кратеров – неправильной формы. В центре кратеров, особенно кратеров значительной площади, в результате воздействия МИИП формируются небольшие углубления.

4. Заключение

1. После обработки мощным импульсным ионным пучком на поверхности молибдена, тантала, вольфрама образуются дефекты в виде кратеров округлой формы. Также в приповерхностном слое образуются трещины, проходящие через кратеры.
2. Кратеры неправильной (не округлой) формы формируются на поверхности пирографита только по границам зерна. Трещины на облученной поверхности не наблюдаются.
3. Следующий этап исследования – изучение приповерхностного слоя металлов и пирографита толщиной до 5 мкм с целью определения его структуры и фазового состава до и после облучения МИИП.

5. Список литературы

- [1] Г.В. Потемкин, А.Е. Лигачев, М.В. Жидков, Ю.Р. Колобов, Г.Е. Ремнев, М.Ю. Газизова, С.А. Божко, О.А. Буреев, Изменение рельефа поверхности магния под действием мощного импульсного ионного пучка, *Физика и химия обработки материалов*, **4**, 5, 2015.
- [2] M.V. Zhidkov, A.E. Ligachev, Yu.R. Kolobov, G.V. Potemkin, and G.E. Remnev, Effect of High-Power Ion Beams on the Surface Topography and Structure of the Subsurface Layer of Submicrocrystalline Titanium Alloys, *Russian Journal of Non-ferrous metals*, vol. **60**, 590, 2019; doi: 10.3103/S1067821219050195
- [3] М.В. Жидков, Ю.Р. Колобов, А.Е. Лигачев, Г.В. Потемкин, М.Ю. Газизова, Г.Е. Ремнев, Влияние ионного облучения на структуру приповерхностных слоев субмикроструктурных титановых сплавов ВТ1-0 и ВТ6, *Труды IV международной научной конференции “Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении” (FRITME-2015)*, 101, 2015.
- [4] А.Е. Ligachev, Yu.R. Kolobov, M.V. Zhidkov, E.V. Golosov, G.V. Potemkin, and G.E. Remnev, Pulsed ion beam induced changes in a submicrocrystalline structure of the near surface layers of austenite steel, *Inorganic Materials: Applied Research*, vol. **7**(3), 325, 2016; doi: 10.1134/S207511331603014X
- [5] M.V. Zhidkov, A.E. Ligachev, E.V. Golosov, M.Y. Gazizova, S.K. Pavlov, and G.E. Remnev, Study of craters formed on surface of AISI 321 stainless steel after high power ion-beam exposure, *Vacuum*, vol. **198**, 110852, 2022; doi: 10.1016/j.vacuum.2021.110852