

## ВЛИЯНИЕ МОЩНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИОННОГО ПУЧКА НА СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ МАГНИЯ

А.Е. Лигачев<sup>1)</sup>, Б.Л. Бобрышев<sup>2)</sup>, Д.В. Попков<sup>3)</sup>, М.В. Жидков<sup>4)</sup>, Н.Г. Валько<sup>5)</sup>,  
Н.А. Павлова<sup>5)</sup>, Г.В. Потемкин<sup>6)</sup>, В.А. Тарбоков<sup>6)</sup>, Г.Е. Ремнев<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,  
ул. Вавилова 38, Москва 119991, ГСП 1, Россия

<sup>2)</sup>ООО «АВАНГАРД-ЛИТ», ул. К. Цеткин 33, Москва 125130, Россия

<sup>3)</sup>ММЗ «АВАНГАРД», ул. К. Цеткин, 33, Москва 125130, Россия

<sup>4)</sup>ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН,  
пр. Академика Семенова 1, Черноголовка 142432, Московская область, Россия

<sup>5)</sup>Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,  
ул. Ожешко 22, Гродно 230023, Беларусь

<sup>6)</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
ул. Ленина 30, Томск 634050, Россия

Исследовано влияние обработки сплава магния МЛ 5 мощным импульсным ионным пучком ( $70\%C^+ + 30\%H^+$ , ионный ток  $\sim 80 A/cm^2$  при ускоряющем напряжении 120 кВ и  $\sim 160 A/cm^2$  при ускоряющем напряжении  $\sim 200$  кВ, длительность импульса  $\sim 100$  нс) на топографию поверхности, структуру и твёрдость его приповерхностного слоя. С ростом параметров облучения на поверхности магния формируются кратеры различной формы. Фазовый состав приповерхностного слоя после воздействия потоком ионов не изменился, но наблюдаются изменения интенсивности рефлексов на дифрактограмме, что скорее всего обусловлено ростом плотности дислокаций в приповерхностном слое сплава. После воздействия ионного пучка на поверхность металла микротвердость его приповерхностного слоя существенно не меняется.

**Ключевые слова:** магний; импульсный ионный пучок; ионы углерода; морфология поверхности; структура.

## INFLUENCE OF A POWERFUL PULSED ION BEAM ON THE SURFACE PROPERTIES OF A MAGNESIUM ALLOY

A.E. Ligachev<sup>1)</sup>, B.L. Bobryshev<sup>2)</sup>, D.V. Popkov<sup>3)</sup>, M.V. Zhidkov<sup>4)</sup>, N.G. Valko<sup>5)</sup>,  
N.A. Pavlova<sup>5)</sup>, G.V. Potemkin<sup>6)</sup>, V.A. Tarbokov<sup>6)</sup>, G.E. Remnev<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup>Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,  
38 Vavilova Str., 119991, Moscow, GSP 1, Russia

<sup>2)</sup>AVANGARD-LIT LLC, 33 K. Tsetkin Str., 125130. Moscow, Russia.

<sup>3)</sup>MMZ «AVANGARD», 33 K. Tsetkin Srt., 125130 Moscow, Russia

<sup>4)</sup>Institute of Problems of Chemical Physics and Medical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, 1 Akademika Semenova Ave., 142432 Chernogolovka, Moscow region, Russia

<sup>5)</sup>Yanka Kupala State University of Grodno, 22 Ozheshko Str., 230023 Grodno, Belarus

<sup>6)</sup>National Research Tomsk Polytechnic University,  
30 Lenin Ave., 634050 Tomsk, Russia, ep.gvp@yandex.ru

The effect of treating the surface of a magnesium ML 5 alloy with a high power ion beam ( $70\%C^+ + 30\%H^+$ , ion current  $\sim 80 A/cm^2$  at an accelerating voltage of 120 kV and  $\sim 160 A/cm^2$  at an accelerating voltage of  $\sim 200$  kV, pulse duration  $\sim 100$  ns) has been studied the topography of the surface and the structure of its subsurface layer. As the radiation parameters increase, craters of various shapes form on the alloy surface. The phase composition of the subsurface layer did not change after exposure to the ion flux. However, there are changes in the intensity of reflections on the diffractogram, which is most likely due to an increase in the density of dislocations in the near-surface layer of the alloy. After exposure of the ion beam to the metal surface does not change significantly.

**Keywords:** magnesium; high power ion beam; carbon ions; surface morphology; structure.

## Введение

Механизм кратерообразования на поверхности чистых металлов и сплавов после воздействия на них мощных импульсных ионных пучков (МИИП) изучается, но к полному пониманию этого явления исследователи пока не пришли [1, 2]. Поэтому интерес представляют экспериментальные исследования, направленные на изучение влияния МИИП на приповерхностный слой конструкционных материалов, имеющих различную температуру плавления. В качестве объекта исследования был выбран хорошо известный в промышленности сплав на основе магния МЛ 5 с температурой кристаллизации из жидкого в твердое состояние от 600° до 430°C.

В настоящей работе представлены результаты исследования топографии поверхности и структуры приповерхностного слоя сплава магния после его обработки МИИП.

## Материалы и методика эксперимента

Образцы магния диаметром 25 мм и толщиной 3 мм облучали на ускорителе ТЕМП 4 Томского политехнического университета МИИП (параметры пучка: (70% C<sup>+</sup> + 30% H<sup>+</sup>, ионный ток ~80 A/cm<sup>2</sup> ускоряющее напряжение 120 кВ (режим облучения №1) и ~160 A/cm<sup>2</sup> при ускоряющем напряжении ~200 кВ (режим облучения №2), длительность импульса ~100 нс, количество импульсов – 1). Химический состав сплава представлен в табл. 1

Табл. 1. Химический состав сплава

Элемент	Концентрация, вес. %
Fe	до 0.06
Si	до 0.25
Mn	0.15– 0.5
Ni	до 0.01
Al	7.5–9
Cu	до 0.1
Zr	до 0.002
Be	до 0.002
Mg	89.1 – 92.15
Zn	0.2 – 0.8

На рис. 1 представлено изображение поверхности образца и выделены цветными линиями зоны его обработки МИИП.

Облученную поверхность образца можно разделить на три зоны. Область поверхности образца, ограниченная синей линией, это зона держателя, с помощью которого образец фиксировался в вакуумной камере, здесь воздействие пучка на поверхность магния не было.

Область поверхности, ограниченная зеленой линией – облучение по режиму 2, область поверхности, ограниченная желтой линией – облучение по режиму №1.

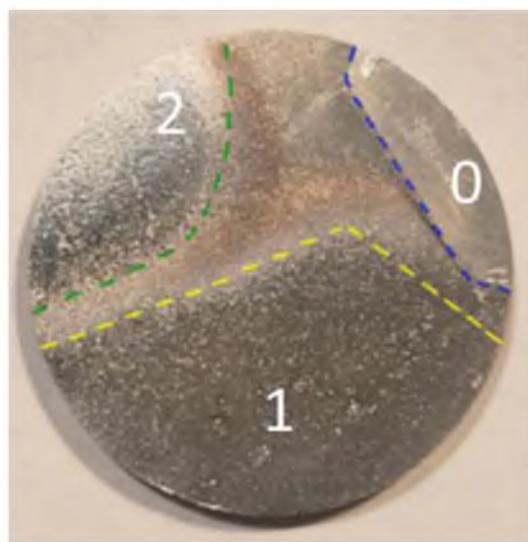


Рис. 1. Общий вид образца после обработки МИИП: 0 – область держателя (не облучена), 1 – область первичного облучения 60-80 A/cm<sup>2</sup>, 2 – область облучения 160 A/cm<sup>2</sup>

Микроструктуру поверхности образцов изучали методами оптической металлографии на микроскопе «Альтами», рентгеноструктурный анализ проводили с помощью дифрактометра ДРОН-3М.

## Результаты и их обсуждение

На рисунке 2 показаны изображения поверхности магния МЛ 5 в зоне воздействия ионным пучком по режиму 1 (область, ограниченная желтой линией, плотности тока ~80 A/cm<sup>2</sup>).

Кратеры заполнили всю поверхность облучения, расположены вплотную друг к

другу. Видно, что области поверхности, где кратеров нет, отсутствуют.

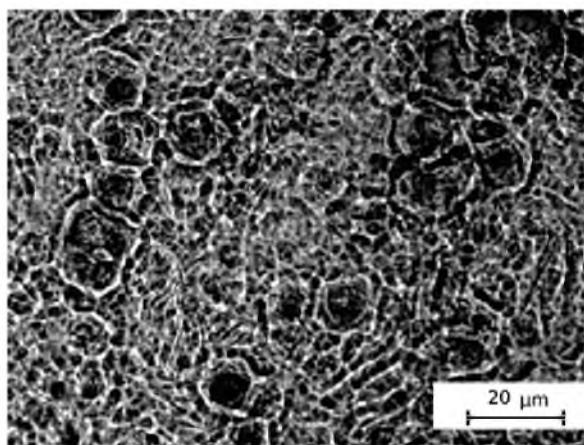


Рис. 2. Поверхность сплава магния МЛ5 после обработки МИИП (плотность тока ионов в импульсе  $\sim 80 \text{ A/cm}^2$ )

После обработки поверхности сплава МИИП по режиму № 2 (плотность тока ионов в импульсе  $\sim 160 \text{ A/cm}^2$ ) поверхность после облучения также полностью покрывается кратерами, их размер несколько уменьшается, по сравнению с кратерами, полученными после облучения по режиму 1 (рис. 3.)

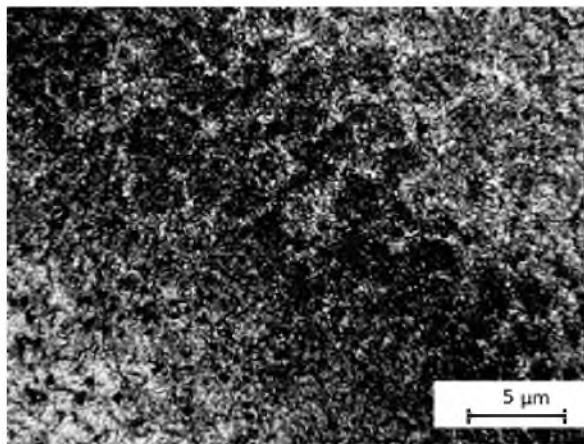


Рис. 3. Поверхность сплава магния МЛ5 после обработки МИИП (плотность тока ионов в импульсе  $\sim 160 \text{ A/cm}^2$ )

На рисунке 4 представлены результаты рентгеноструктурного анализа приповерхностного слоя образца МЛ 5. В результате воздействия МИИП на образец фазовый состав облученной области не меняется при обоих режимах облучения.

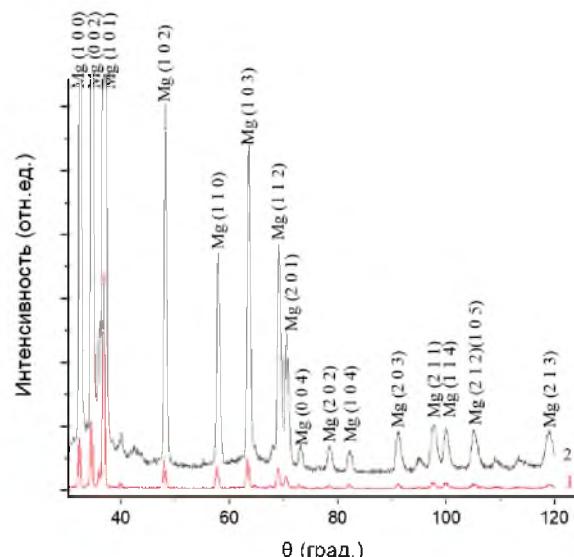


Рис. 4. Дифрактограмма приповерхностного слоя сплава МЛ 5 (1 – облученный сплав, 1 импульс,  $80 \text{ A/cm}^2$ ; 2 – не облученный сплав)

## Заключение

Выполнены эксперименты по обработке поверхности магниевого сплава МЛ 5 мощным импульсным пучком ионов  $70\% \text{ C}^{n+} + 30\% \text{ H}^+$ . Выявлены области поверхности, на которой сформированы кратеры.

Все кратеры имеют в основном округлую форму и при данных режимах облучения их форма не меняется. В структуре приповерхностного слоя до и после облучения принципиальных изменений не наблюдается.

## Библиографические ссылки

- Uglov V.V., Remnev G.E., Kuleshov A.K., Saltymakov M.S. Modification of hard alloy by the action of high power ion beams. *Surface and Coatings Technology* 2011; 206: 781-4.
- Ligachev A.E., Kolobov Y.R., Zhidkov M.V., Golosov E.V., Potemkin G.V., Remnev G.E. Pulsed ion beam induced changes in a submicrocrystalline structure of the near surface layers of austenite steel. *Inorganic Materials: Applied Research* 2016; 7(3): 325-9.