

## ТОПОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТИ МАГНИЯ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ МОЩНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ПУЧКОМ ИОНОВ УГЛЕРОДА

Г.В. Потемкин<sup>1)</sup>, А.Е. Лигачев<sup>2)</sup>, М.В. Жидков<sup>3)</sup>, Ю.Р. Колобов<sup>4)</sup>,  
Г.Е. Ремнев<sup>1)</sup>, Б.Л. Бобрышев<sup>5)</sup>, В.М. Анищик<sup>6)</sup>, Н.И. Поляк<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup>Томский политехнический университет, Томск, Россия

<sup>2)</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия, carbin@yandex.ru

<sup>3)</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Белгород, Россия, zhidkov@bsu.edu.ru

<sup>4)</sup>Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Россия, kolobov@bsu.edu.ru

<sup>5)</sup>Московский авиационный институт им. С. Орджоникидзе, Москва, Россия

<sup>6)</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

С помощью растровой электронной микроскопии исследовано влияние облучения мощным импульсным пучком ионов углерода с плотностью энергии в импульсе 1 и 3 Дж/см<sup>2</sup> на топографию поверхности образцов магния. Показано, что облучение с большей плотностью энергии в импульсе вызывает ее существенное изменение: после воздействия 1 импульсом наблюдается образование кратеров различной формы, после 10 импульсов - формирование волнистой структуры.

**Ключевые слова:** высокоинтенсивные импульсные ионные пучки; магний; растровая электронная микроскопия; топография поверхности; формирование кратеров.

## THE SURFACE TOPOGRAPHY OF MAGNESIUM AFTER IRRADIATION OF POWER HIGH ION BEAM PROCESSING

G.V. Potemkin<sup>1)</sup>, A.E. Ligachev<sup>2)</sup>, M.V. Zhidkov<sup>3)</sup>, Y.R. Kolobov<sup>4)</sup>, G.E. Remnev<sup>1)</sup>,  
B.L. Bobryshev<sup>5)</sup>, V.M. Anishchik<sup>6)</sup>, N.I. Poliak<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>2)</sup>A.M. Prokhorov General Physics Institute RAS, Moscow, Russia, carbin@yandex.ru

<sup>3)</sup>Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia, zhidkov@bsu.edu.ru

<sup>4)</sup>Institute of Problems of Chemical Physics RAS, Chernogolovka, Russia, kolobov@bsu.edu.ru

<sup>5)</sup>Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

<sup>6)</sup>Belarusian State University, Minsk, Belarus

Using scanning electron microscopy, the effect of a powerful pulsed carbon beam with a pulse density of 1 and 3 J/cm<sup>2</sup> on the surface topography of magnesium samples was studied. It is shown that irradiation with a higher energy density in the pulse, its significant change: after exposure to 1 pulse, the formation of craters of various shapes, after 10 pulses - the formation of a wavy structure.

**Keywords:** high-intensity pulsed ion beam; magnesium; scanning electron microscopy; surface topography; craters formation.

### Введение

Магний и его сплавы - одни из активно изучаемых сейчас конструкционных функциональных материалов из-за выгодного сочетания механических свойств и малого удельного веса, а также высокой коррозионной стойкости. Известно, что эксплуатационные свойства изделий из металлических материалов, в том числе

магния и его сплавов, во многом определяются качеством обработки их поверхности и состоянием приповерхностных слоев. Одним из направлений в области создания новых технологий обработки материалов является поверхностная модификация металлов и сплавов мощными импульсными пучками ускоренных ионов (МИП) [1-6].

Первые исследования по обработке металлов на примере инструментальных сплавов мощными импульсным пучком ионов углерода (ускоритель «ТОНУС») были выполнены в НИИ ядерной физики при Томском политехническом институте [1, 2].

Цель данной работы – изучить топографию поверхности магния после его обработки мощным импульсным ионным пучком (МИИП) состоящим преимущественно из ионов углерода (70% углерода, 30% водорода).

### Результаты эксперимента

Облучались образцы технически чистого магния прямоугольной формы, размером 10x10 мм, поверхность которых предварительно подвергалась механической шлифовке и полировке до «зеркального блеска» на установке LaboPol-5 (Struers).

Облучение проводили на ускорителе «ТЕМП-4М», работающем в двухимпульсном режиме [7]. Несепарированный поток частиц вакуумного диода с магнитной изоляцией «ТЕМП-4М» представляет собой смесь  $C^{n+}$  (в основном  $C^+$ ) и нейтронов  $C^n$ .

Параметры ионного потока: энергия однозарядных ионов углерода - 250 кэВ, длительность импульса - 100 нс, плотность энергии в импульсе  $J$  и число импульсов  $D$  приведены в таблице.

Таблица. Параметры облучения образцов магния  
Table. Irradiation parameters of magnesium samples

$J$ , Дж/см <sup>2</sup>	1	1	3	3
$D$ , имп.	1	10	1	10

Топография поверхности образцов магния после воздействия МИИП (рис. 1, 2) исследовалась с помощью растрового электронного микроскопа Quanta 600 FEG.

В результате воздействия ионного пучка наблюдаются следующие изменения: поверхность становится неоднородной, приобретает развитый рельеф. Характер

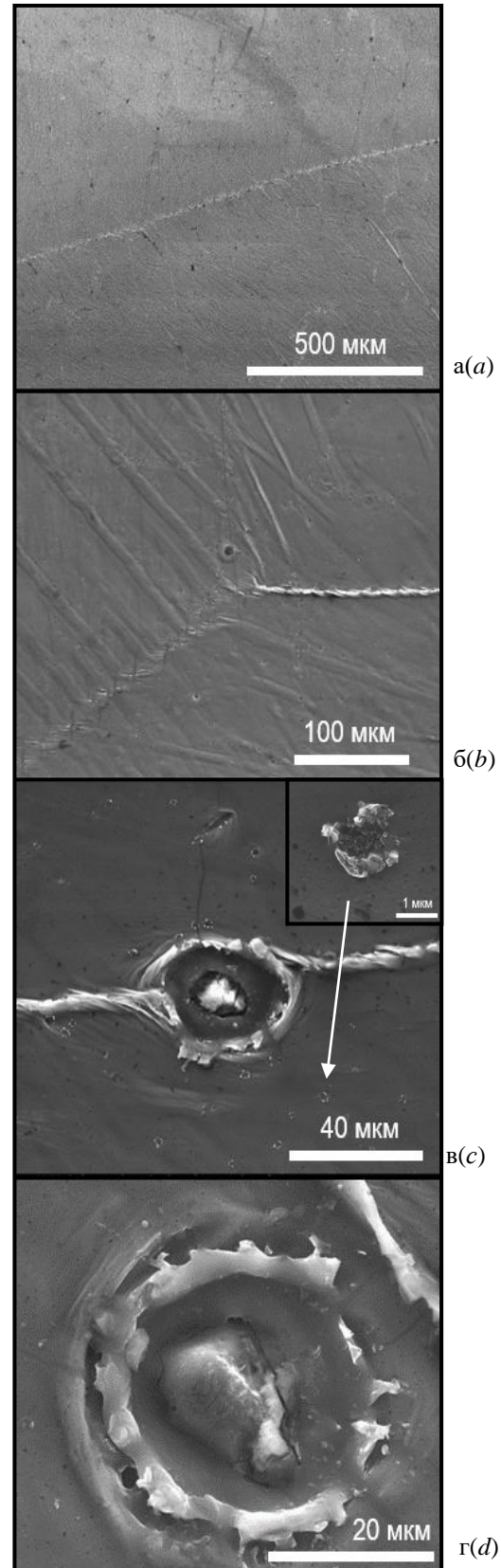


Рис.1 Поверхность магния после МИИП (3 Дж/см<sup>2</sup>, 1 импульс)

Fig. 1. Magnesium surface after HPIB (3 J/cm<sup>2</sup>, 1 pulse)

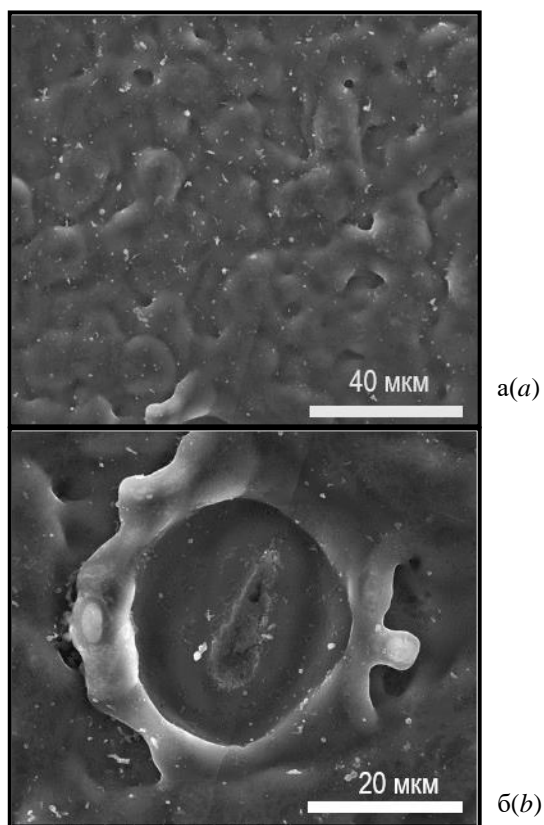


Рис. 2. Поверхность магния после МИИП (3 Дж/см<sup>2</sup>, 10 импульсов)  
Fig. 2. Magnesium surface after HPIV (3 J/cm<sup>2</sup>, 10 pulse)

рельефа свидетельствует о том, что в зоне действия ионного пучка происходит нагрев материала мишени, его плавление, кипение, разлет части материала с поверхности, а затем быстрое затвердевание.

Обнаружено, что на поверхности магния формируются кратеры, имеющие преимущественно сферическую форму (рис. 1в, г). Образуется также бруствер, который состоит из значительного объема брызг магния, застывших во время окончания действия МИИП на его поверхность (рис. 1в, вставка). Некоторые кратеры имеют несколько концентрических окружностей (рис. 1г). Образовавшиеся при этом кратеры со средним диаметром около 30 мкм имеют классический вид: осевую симметрию, округлые края, бруствер и купол внутри дна кратера (рис. 1г).

Нелинейный процесс взаимодействия мощного потока заряженных частиц с веществом мишени и последующая кри-

сталлизация расплава в сильно неравновесных условиях являются причиной модификации поверхностного слоя облучаемого материала. При определенной поверхностной плотности мощности падающего потока ионов и числа импульсов от 6 до 10 микровыступы рельефа поверхности подвергаются расплавлению, образуются области жидкого металла, которые в результате высокоскоростного затвердевания и формируют поверхность с минимальным числом кратеров, изображение которой представлено на рис. 2а.

### Заключение

Показано, что воздействие мощным ионным пучком (70% углерода, 30% водорода) на поверхность магния приводит к формированию в модифицированном слое кратеров различной формы (при воздействии 1 импульсом), что может быть связано с наличием неоднородностей плотности пучка ионов в импульсе, и волнистой структуры (при воздействии 10 импульсами), возникающей в результате сверхбыстрой кристаллизации жидкого приповерхностного слоя.

### Библиографические ссылки

1. Логачев Е.И., Ремнев Г.Е., Усов Ю.П. Ускорение ионов из взрывоэмиссионной плазмы. *Письма в журнал технической физики* 1980; 6(22): 1404-1406.
2. Диденко А.Н., Кузнецов Б.И., Ремнев Г.Е. Исследование влияния облучения сильноточными электронными и ионными пучками на поверхностные свойства инструментальных сталей. В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной конференции по применению электронно-ионной технологии в народном хозяйстве, г. Тбилиси. Тбилиси: НИИЭТ; 1981. С. 110-111.
3. Диденко А.Н., Ремнев Г.Е., Лигачев А.Е. Процессы упрочнения и повышения эксплуатационных характеристик сплавов, облученных мощными ионными пучками. В кн.: Тезисы докладов VI Всесоюзного симпозиума по сильноточной импульсной электронике (27-29 мая 1986 г.), г. Томск. Томск: Институт сильноточной электроники СО АН СССР; 1986. С. 163-165.
4. Didenko A.N., Remnev G.E., Chistjakov S.A., Ligachev A.E. Definition of recoil pulse and removal of target mass under effect of high power

beams (HPIB). In the book: Proc. 6-th International conference of high-power particle beams (9-12 June 1986), Kobe, Japan. P. 77-81.

5. Погребняк А.Д., Ремнев Г.Е., Чистяков С.А., Лигачев А.Е. Модификация свойств металлов под действием мощных ионных пучков. *Известия высших учебных заведений. Физика* 1987; 30(1): 52-65.
6. Kovivchak V.S., Panova T.K., Michailov K.A. Surface Structuring of Polycrystalline Magnesium under the Action of High Power Ion Beam of Nanosecond Duration. *Technical Physics Letters* 2010; 36(12): 1092-1094.
7. Ремнев Г.Е., Исаков И.Ф., Матвиенко В.М. Источники мощных ионных пучков для практического применения. *Известия высших учебных заведений. Физика* 1998; (4): 92-111.

## References

1. Logachev E.I., Remnev G.E., Usov Yu.P. Uskorenie ionov iz vzryvoemissionnoy plazmy. [Acceleration of ions from explosive-emission plasma]. *Pis'ma v zhurnal tekhnicheskoy fiziki* 1980; 6(22): 1404-1406. (In Russian).
2. Didenko A.N., Kuznetsov B.I., Remnev G.E. Issledovanie vliyaniya oblucheniya sil'notochnymi elektronnyimi i ionnymi puchkami na poverkhnostnye svoystva instrumental'nykh staley. [Investigation of the effect of irradiation with high-current electron and ion beams on the surface properties of tool steels]. V kn.: Tezisy докладov Vsesoyuznoy konferentsii po primeneniyu elektronno-ionnoy tekhnologii v narodnom khozyaystve, g. Tbilisi. Tbilisi: NIET; 1981. С. 110-111. (In Russian).
3. Didenko A.N., Remnev G.E., Ligachev A.E. Protsessy uprochneniya i povysheniya ekspluatatsionnykh kharakteristik splavov, obluchennykh moshchnymi ionnymi puchkami. [Processes of hardening and improving the operational characteristics of alloys irradiated with powerful ion beams]. V kn.: Tezisy докладov VI Vsesoyuznogo simpoziuma po sil'notochnoy impul'snoy elektronike (27-29 maya 1986 g.), g. Tomsk. Tomsk: Institut sil'notochnoy elektroniki SO AN SSSR; 1986. S. 163-165. (In Russian).
4. Didenko A.N., Remnev G.E., Chistjakov S.A., Ligachev A.E. Deffinition of recoil pulse and removal of target mass under effect of high power beams (HPIB). In the book: Proc. 6-th International conference of high-power particle beams (9-12 June 1986), Kobe, Japan. P. 77-81.
5. Pogrebnyak A.D., Remnev G.E., Chistyakov S.A., Liga-chev A.E. Modifikatsiya svoystv metallov pod deystviem moshchnykh ionnykh puchkov. [Modification of the properties of metals under the influence of powerful ion beams]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika* 1987; 30(1): 52-65. (In Russian).
6. Kovivchak V.S., Panova T.K., Michailov K.A. Surface Structuring of Polycrystalline Magnesium under the Action of High Power Ion Beam of Nanosecond Duration. *Technical Physics Letters* 2010; 36(12): 1092-1094.
7. Remnev G.E., Isakov I.F., Matvienko V.M. Istochniki moshchnykh ionnykh puchkov dlya prakticheskogo primeneniya. [Sources of powerful ion beams for practical use]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika* 1998; (4): 92-111. (In Russian).