

# ОБЛУЧЕНИЕ МАГНИЯ ИОНАМИ АРГОНА С ЭНЕРГИЕЙ 5 кэВ, ПОЛУЧЕННОГО ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ IRRADIATION OF MAGNESIUM BY ARGON IONS WITH ENERGY 5 keV, PROCESSED BY SEVERE PLASTIC DEFORMATION



*P.X. Хисамов<sup>1</sup>, P.P. Тимирязев<sup>1,2</sup>, С.Н. Сергеев<sup>1</sup>, Е.А. Корзникова<sup>1</sup>,  
К.С. Назаров<sup>1</sup>, Р.У. Шаяхметов<sup>1</sup>, Г.Ф. Корзникова<sup>1</sup>, Р.Р. Мулюков<sup>1,2</sup>  
R.Kh.Khisamov<sup>1</sup>, R.R. Timiryazev<sup>1,2</sup>, S.N. Sergeev<sup>1</sup>, E.A. Korznikova<sup>1</sup>,  
K.S. Nazarov<sup>1</sup>, R.U. Shayakhmetov<sup>1</sup>, G.F. Korznikova<sup>1</sup>, R.R. Muyukov<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Laboratory of Nanomaterials and Nanotechnologies,  
Institute for Metals Superplasticity Problems of the  
Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia;  
<sup>2</sup> Institute of Oil and Gas Engineering and Digital  
Technologies of the Ufa State Petroleum  
Technological University, Ufa, Russia  
[r.khisamov@mail.ru](mailto:r.khisamov@mail.ru)

## Аннотация / Abstract

Исследовано влияние интенсивной пластической деформации и последующего отжига магния на рельеф поверхности при ионном облучении. Показано, что в результате облучения ионами аргона с энергией 5 кэВ на поверхности образцов магния образуются кратеры и конусы. Проанализировано влияние микроструктуры образцов на рельеф поверхности, сформированный в результате ионного облучения.

The effect of severe plastic deformation and subsequent annealing of magnesium on the surface topography under ion irradiation have been investigated. It is shown, in the result of irradiation by argon ions with an energy of 5 keV, craters and cones are formed on the surface of magnesium samples. Influence of the samples microstructure on the surface topography formed as a result of ion irradiation have been analyzed.

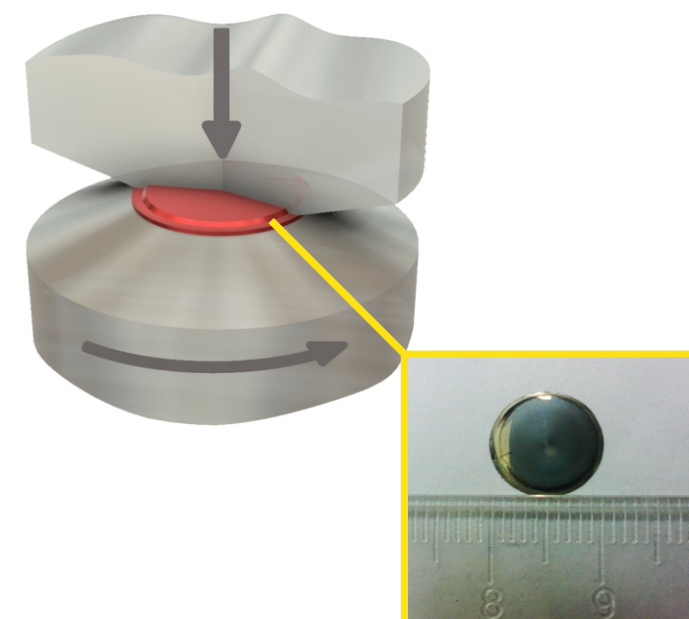
## Введение

Газоразрядные устройства с тлеющим разрядом широко распространены на практике. Одним из важнейших деталей таких приборов является холодный катод – от его эффективности зависит работа устройства. В условиях тлеющего разряда поверхность катода подвергается эрозии за счет бомбардировки ионами рабочего газа. На поверхности может развиваться различный рельеф, который может оказывать влияние на эффективность работы катода. Образование рельефа на поверхности зависит, в частности, от микроструктуры материала. Например, снижение размера зерен в металле катода путем интенсивной пластической деформации может приводить к существенным изменениям морфологии поверхности при ионной бомбардировке. В данной работе исследовано влияние интенсивной пластической деформации на изменение морфологии поверхности магния при ионном облучении.

## Материалы и методы исследований

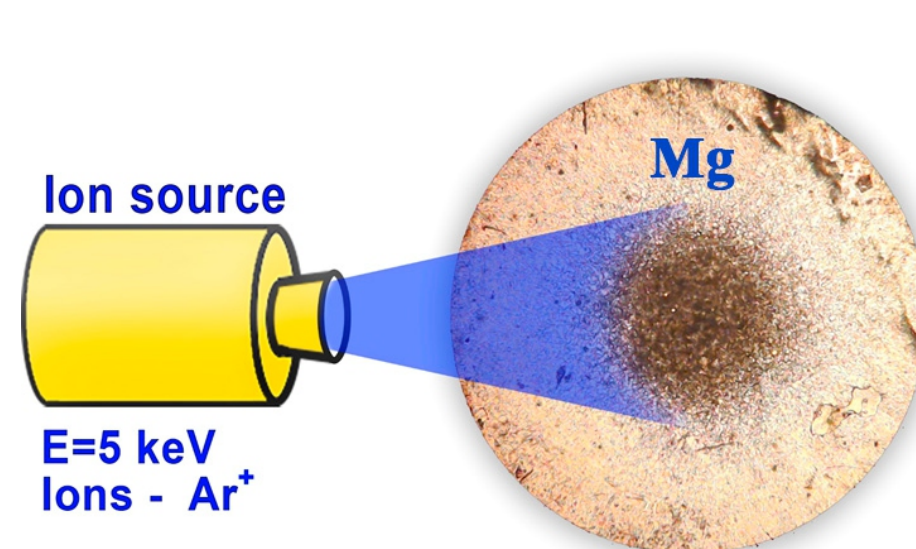
- Материал - Магний марки МА2-1 (AZ31)
- Интенсивная пластическая деформация - кручение под высоким давлением (НРТ)
- Исследуемые образцы:
  - Исходный образец (размер зерен  $d = 10$  мкм)
  - НРТ ( $d \approx 1$  мкм)
  - НРТ +300°C ( $d = 4$  мкм)
  - НРТ +400°C ( $d = 10$  мкм)
- Размеры образцов: диаметр - 4 мм, толщина - 0,5 мм
- Ионное облучение
- РЭМ исследования поверхности

Интенсивная пластическая деформация  
Кручением под высоким давлением/  
Severe plastic deformation  
High pressure torsion

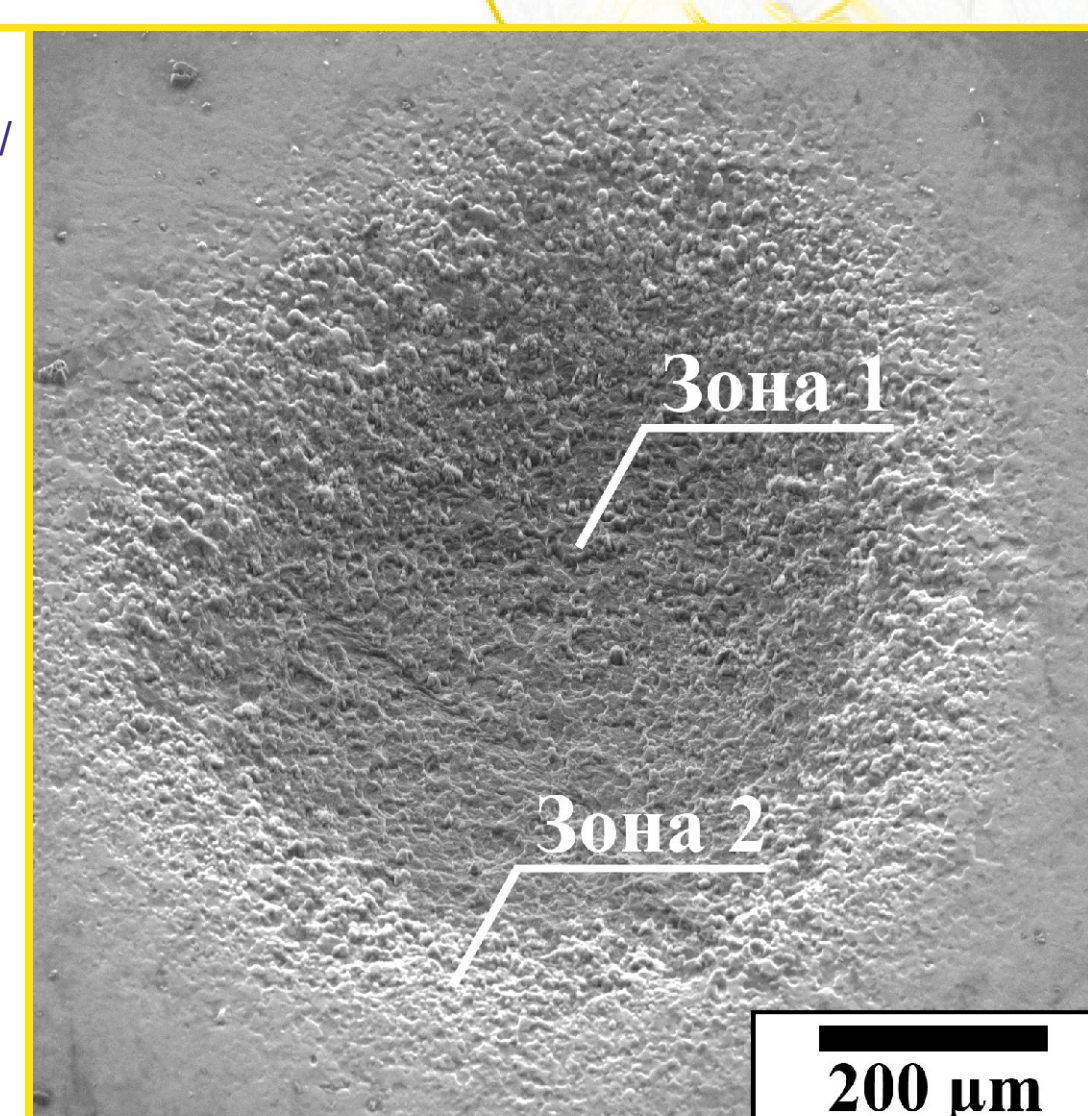


Режимы деформации/Deformation regime:  
 $P = 5$  GPa,  $n = 10$  rot, RT;  
Размер образцов/Sample dimension:  
 $d = 10$  mm,  $h = 0.6$  mm

Облучение производилось в прецизионной  
системе ионной полировки Gatan модель 691/  
Irradiation was performed in a precision  
polishing system Gatan model 691

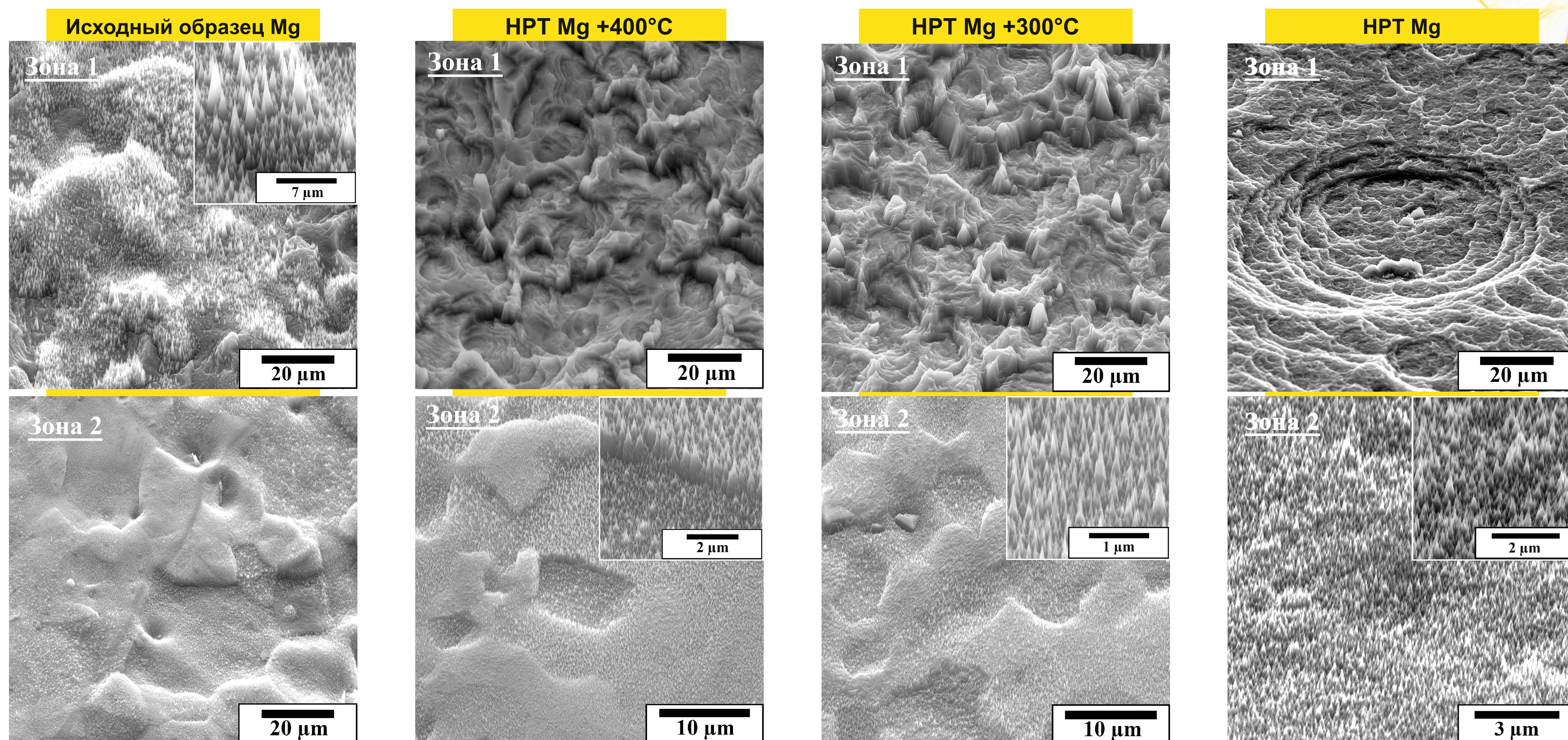


Режим облучения/Irradiation regimes:  
 $Ar^+ \rightarrow Mg$ ,  $E = 5$  keV,  $\alpha = 0^\circ$ ,  
fluence  $\approx 10^{18}$  ion/cm<sup>2</sup>



РЭМ изображение поверхности  
магния после ионного облучения. В  
результате облучения на  
поверхности сформировался  
кратер диаметром 0.4 мм.  
Исследуемые зоны - кратер (Зона  
1) и область облучения вокруг  
кратера (Зона 2).  
SEM image of the surface of Mg  
sample after ion irradiation. As a  
result of irradiation, a crater with a  
diameter of 0.4 mm was formed on  
the surface. The studied zones -  
crater (Zone 1) and the irradiation  
area around the crater (Zone 2).

## Результаты исследований



РЭМ изображения в SE режиме сплава магния МА2-1 с различным структурным состоянием в результате облучения ионами аргона с энергией 5 кэВ/  
SEM images (SE mode) of MA2-1 (AZ31) magnesium alloy with different structural states as a result of irradiation with 5 keV argon ions

## Выводы

Проведено облучение ионами аргона с энергией 5 кэВ с флюенсом порядка  $10^{20}$  ион/см<sup>2</sup> образцов магния со средним размером зерен от 1 до 10 мкм. Средний размер зерен в образцах равный 1 мкм получили интенсивной пластической деформацией. В результате облучения на всех образцах образуются конусы равномерно распределенные по поверхности с концентрацией около 50 конус/мкм<sup>2</sup>. Формирование конусов не зависит от кристаллографической ориентации зерен и размера зерен. На деформированном образце магния рельеф поверхности, связанный с перепадом высот между зернами не развивается. В то время как, на деформированных и отожженных образцах рельеф с перепадом высот между зернами проявляется.

Благодарности. Проведенные исследования выполнены в рамках проекта РНФ 18-12-00440 и частично поддержаны государственным заданием ИПСМ РАН. Электронно-микроскопические исследования проведены на оборудовании ЦКП «Структурные и физико-механические исследования материалов» ИПСМ РАН.