

## ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ НА СТРУКТУРУ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 12Х18Н10Т В СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

М.В. Жидков<sup>1)</sup>, Ю.Р. Колобов<sup>1)</sup>, Е.В. Голосов<sup>1)</sup>, А.Е. Лигачев<sup>2)</sup>, Г.В. Потемкин<sup>3)</sup>, Г.Е. Ремнев<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Научно-образовательный и инновационный центр «Наноструктурные материалы и нанотехнологии», 308015, Белгород, ул. Победы, 85, keten7@mail.ru

<sup>2)</sup>Институт общей физики им. А. Н. Прохорова РАН  
119991, Москва, ул. Вавилова, 38, carbin1947@yandex.ru

<sup>3)</sup>Томский политехнический университет, 634050, Томск, пр. Ленина, 30

Изучена топография и структура поверхностного слоя субмикрокристаллического состояния нержавеющей стали 12Х18Н10Т после облучения импульсным ионным пучком.

### Введение

В данной работе представлены экспериментальные результаты исследования топографии и структурного состояния поверхности стали 12Х18Н10Т в субмикрокристаллическом состоянии, облученной импульсным пучком ионов  $H^+$  и  $C^+$  на ускорителе ТЕМП лаборатории электро-разрядных и пучково-плазменных технологий Томского политехнического университета.

### Материалы и методика эксперимента

В качестве исследуемого материала была выбрана нержавеющая аустенитная сталь 12Х18Н10Т, предварительно подвергнутая воздействию пластической деформацией, сочетающей продольную и поперечно-винтовую прокатку. Облучались образцы, вырезанные из прутка размером 10х6 мм (продольное сечение прутка), поверхность которых предварительно подвергалась механической шлифовке и полировке до «зеркального блеска» на установке LaboPol-5 (Struers).

Параметры импульсного ионного пучка (30%  $H^+$  и 70%  $C^+$ ) следующие: энергия 250 кэВ, длительность импульса ~100 нс на полувысоте, плотность тока в импульсе 150 - 200 А/см<sup>2</sup>. Плотность энергии для отдельной мишени варьировалась в диапазоне 0.5 – 3 Дж/см<sup>2</sup> при числе импульсов равном 1. Давление остаточных газов внутри камеры составляло 3-4·10<sup>-4</sup> мм.рт.ст.

Топографию поверхности исследовали с помощью растровых электронных микроскопов Quanta 200 3D с тепловой эмиссией и Quanta 600 FEG с полевой эмиссией. Также исследовали структурно-фазовое состояние и кристаллографическую текстуру стали в субмикрокристаллическом состоянии (СМК) до и после облучения импульсным ионным пучком с использованием методики автоматического анализа картин дифракции обратно-рассеянных электронов (ДОРЭ-анализ).

### Результаты экспериментов и их обсуждение

После обработки ионным пучком с минималь-

ной плотностью энергии (0.5 Дж/см<sup>2</sup>) не происходит существенного изменения морфологии поверхности стали (рис. 1).

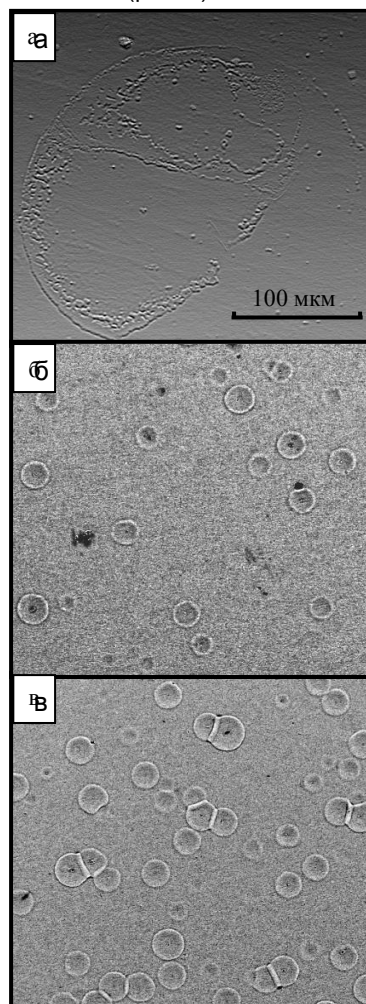


Рис. 1. Топография поверхности стали 12Х18Н10Т после импульсного ионного облучения: а - 0.5 Дж/см<sup>2</sup>, б - 1 Дж/см<sup>2</sup>, в - 3 Дж/см<sup>2</sup>

На поверхности наблюдаются элементы рельефа преимущественно концентрической формы, вероятно, являющиеся следами от воздействия ионного пучка (рис. 1а).

С увеличением плотности энергии ионов на поверхности стали образуются кратеры (рис. 1 б, в и рис. 2) как с четкой кольцевой структурой, так и зародыши кратеров с менее выраженными периферийными кольцами.

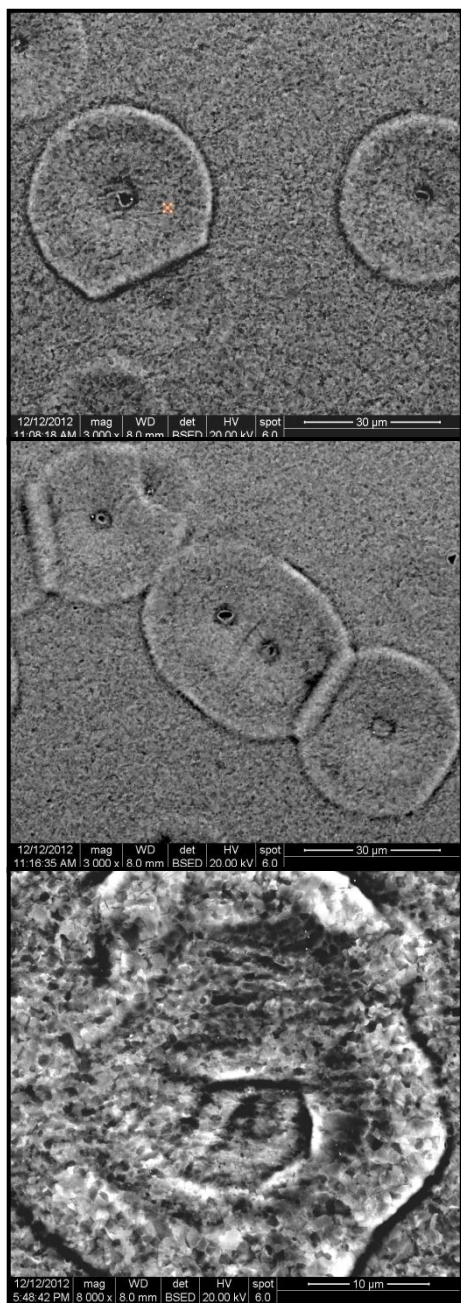


Рис. 2. Изображения кратеров на поверхности стали 12X18H10T после импульсного ионного облучения

Для энергий 1 и 3 Дж/см<sup>2</sup> средний диаметр кратеров различается незначительно и составляет 20 и 25 мкм, соответственно. При этом их ко-

личество (объемная доля на поверхности) значительно возрастает с увеличением плотности энергии воздействия и составляет значения порядка  $2,7 \cdot 10^4$  и  $4 \cdot 10^4$  см<sup>-2</sup>, соответственно. Пространственное распределение кратеров достаточно однородно в пределах всей поверхности образца.

Известно, что кратеры являются характерным элементом рельефа поверхности материалов, подвергнутых воздействию мощных ионных пучков (МИП). Согласно [1], наиболее вероятной причиной их образования является наличие неоднородностей плотности пучка в импульсе. Вследствие этого может происходить локальное плавление, вскипание и испарение приповерхностного слоя материала.

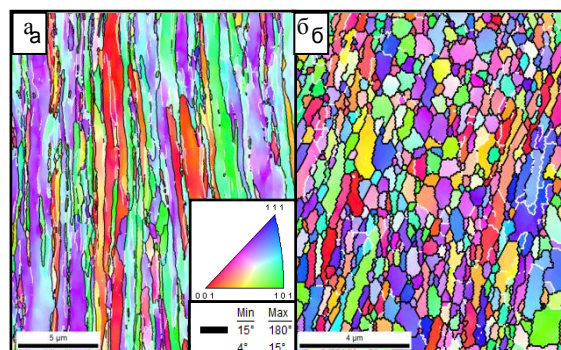


Рис. 3. Изображение карты распределения кристаллографических ориентировок в цветовой гамме кристаллографического треугольника ГЦК аустенита и феррита с наложенной картой разориентировок поверхностной области стали 12X18H10T после пластической деформации (центральная область) (а) и последующего ионного облучения (1 Дж/см<sup>2</sup>) (б)

Электронно-микроскопические исследования и анализ данных, полученных с использованием ДОРЭ, позволили выявить существенные изменения структурного состояния. Из рисунка 3а видно, что для СМК состояния стали 12X18H10T в исследуемой центральной области прутка характерна неоднородная вытянутая вдоль оси прутка (волокнистая) структура, с коэффициентом неравноосности более 5. По границам крупных вытянутых в направлении оси прутка фрагментов структуры наблюдаются отдельные скопления равноосных зерен размером от 100 до 500 нм. При доле большеугловых границ зерен 57% средний размер зерен составляет примерно 430 нм (рис. 4).

Из рисунка 3б, на котором приведены данные, полученные с использованием ДОРЭ-анализа видно, что воздействие ионным пучком с плотностью энергии 1 Дж/см<sup>2</sup> приводит к формированию в приповерхностном слое равноосной ультрамелкозернистой (субмикроструктурной) структуры. Средний размер зерен составляет примерно 450 нм (рис. 5а). При этом происходит значительное увеличение доли большеугловых границ зерен, которая составляет 87% (рис. 5б). Коэффициент неравноосности зерен составил 1.4.

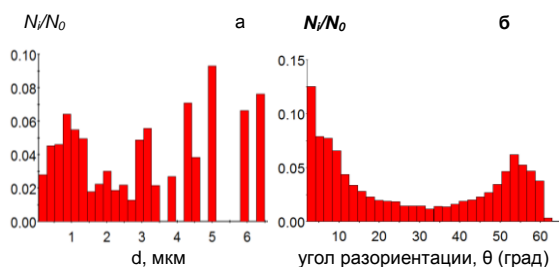


Рис. 4. Гистограммы распределения зерен по размерам (а) и границ по углу разориентации (б) поверхностной области стали 12Х18Н10Т после комбинированной пластической деформации

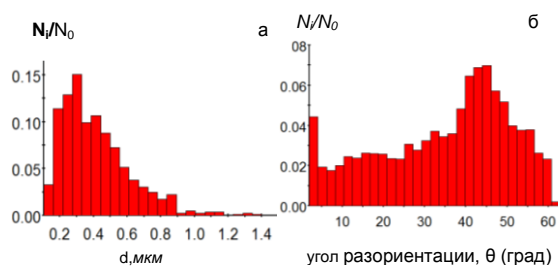


Рис. 5. Гистограммы распределения зерен по размерам (а) и границ по углу разориентации (б) поверхностной области стали 12Х18Н10Т после ионного облучения ( $1 \text{ Дж/см}^2$ )

### Заключение

Показано, что в результате воздействия импульсным пучком ионов углерода и водорода на поверхность коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т в ультрамелкозернистом (субмикрористаллическом) состоянии происходит модификация приповерхностных слоев с формированием равноосной ультрамелкозернистой структуры с высокой долей большеугловых границ зерен. При

этом на поверхности стали формируются неоднородности в виде кратеров, появление которых наблюдается при плотностях энергий пучка выше  $0.5 - 1 \text{ Дж/см}^2$ .

### Список литературы

1. Шулов В.А., Ремнев Г.Е., Ночовная Н.А., и др. // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1994. – №7. – С.117-128.

## INFLUENCE OF PULSE ION IRRADIATION ON STRUCTURE NEAR SURFACE LAYER OF SUBMICROCRYSTALLINE STEEL 12Kh18N10T

M. V. Zhidkov<sup>1</sup>), Yu. R. Kolobov<sup>1</sup>), E. V. Golosov<sup>1</sup>), A. E. Ligachev<sup>2</sup>), G. V. Potemkin<sup>3</sup>), G. E. Remnev<sup>3</sup>)

<sup>1</sup>Belgorod State National Research University, Center of nanostructured materials and nanotechnology, 308034, Russia, Belgorod, Koroleva St., 2a  
kemen7@mail.ru

<sup>2</sup>Institute of general physics by A.M. Prohorov of the RAS, 119991, Russia, Moscow, Vavilov St., 38, carbin1947@yandex.ru

<sup>3</sup>Tomsk politechnical university, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Pr., 30.

The topography and the structure of austenitic steel surface after pulse ion irradiation (C + and H + ) is investigated.