

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

М.В. Жидков¹⁾, Ю.Р. Колобов¹⁾, Е.В. Голосов¹⁾, А.Е. Лигачев²⁾, Г.В. Потемкин³⁾, Г.Е. Ремнев³⁾

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

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

³⁾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/см². Плотность энергии для отдельной мишени варьировалась в диапазоне 0.5 – 3 Дж/см² при числе импульсов равном 1. Давление остаточных газов внутри камеры составляло $3-4 \cdot 10^{-4}$ 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/см²) не происходит существенного изменения морфологии поверхности стали (рис. 1).

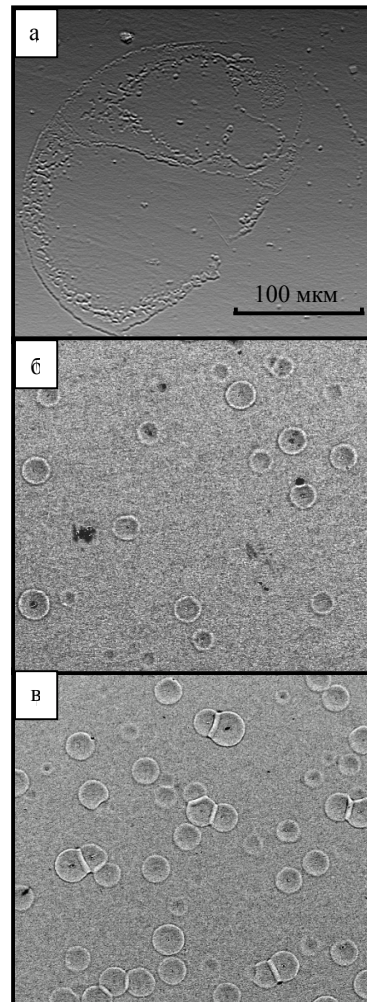


Рис. 1. Топография поверхности стали 12Х18Н10Т после импульсного ионного облучения: а - 0.5 Дж/см², б - 1 Дж/см², в - 3 Дж/см².

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.

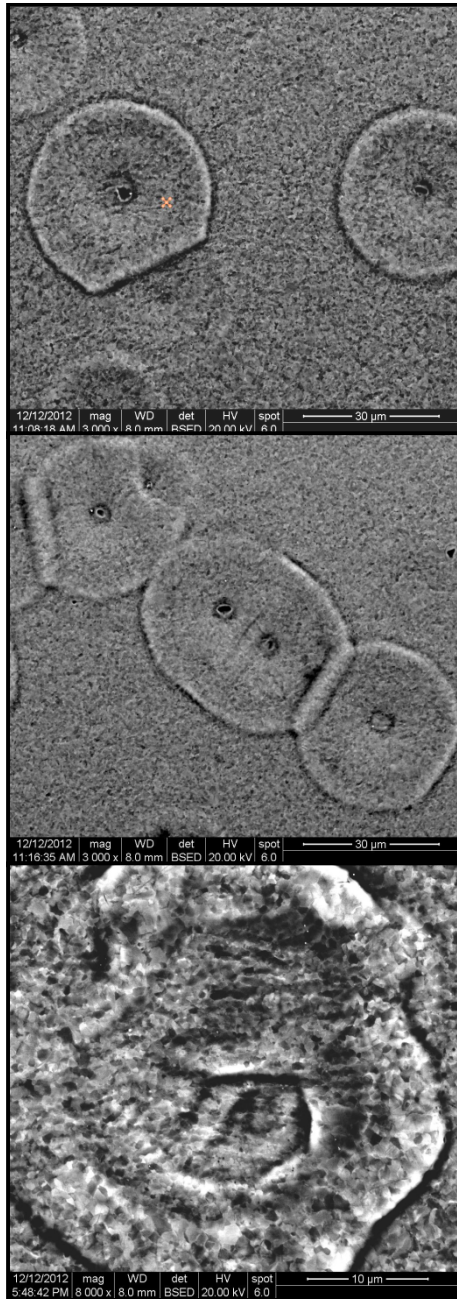


Рис. 2. Изображения кратеров на поверхности стали 12X18H10T после импульсного ионного облучения.

Для энергий 1 и 3 Дж/см² 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⁻², 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.

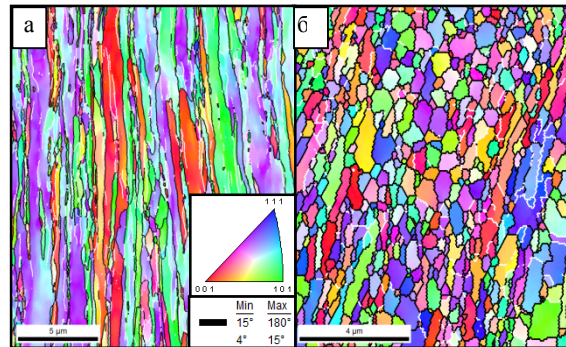


Рис. 3. Изображение карты распределения кристаллографических ориентировок в цветовой гамме кристаллографического треугольника ГЦК аустенита и феррита с наложенной картой разориентировок поверхностной области стали 12X18H10T после пластической деформации (центральная область) (а) и последующего ионного облучения (1 Дж/см²) (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/см² 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

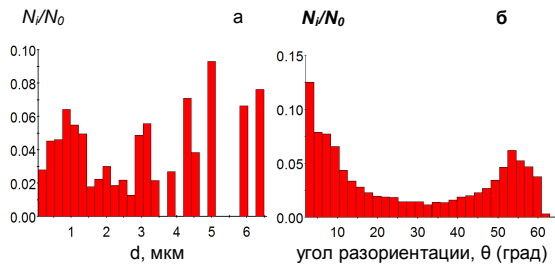


Рис. 4. Гистограммы распределения зерен по размерам (а) и границ по углу разориентации (б) поверхностной области стали 12Х18Н10Т после комбинированной пластической деформации

зерен, которая составляет 87% (рис. 5б). Коэффициент неравноосности зерен составил 1.4.

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

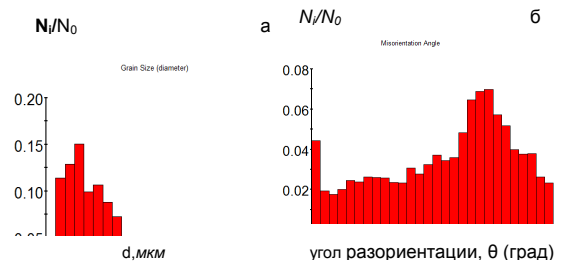


Рис. 5. Гистограммы распределения зерен по размерам (а) и границ по углу разориентации (б) поверхностной области стали 12Х18Н10Т после ионного облучения (1Дж/см²)

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 Дж/см².

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 SUB-MICROCRYSTALLINE STEEL 12Kh18N10T

- M. V. Zhidkov¹, Yu. R. Kolobov¹, E. V. Golosov¹, A. E. Ligachev², G. V. Potemkin³, G. E. Remnev³
¹Belgorod State National Research University, Center of nanostructured materials and nanotechnology, 308034, Russia, Belgorod, Koroleva St., 2a
 kemen7@mail.ru
²Institute of general physics by A.M. Prohorov of the RAS, 119991, Russia, Moscow, Vavilov St., 38, carbin1947@yandex.ru
³Tomsk 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.