

СТРУКТУРА И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 12Х18Н10Т ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ МОЩНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

М.В. Жидков¹⁾, М. Ю. Газизова¹⁾, А.Е. Лигачев²⁾, Г.В. Потемкин³⁾

¹⁾Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия, zhidkov@bsu.edu.ru, smolyakovamarina@bsu.edu.ru

²⁾Институт общей физики имени А.Н. Прохорова РАН, Москва, Россия, carbin@yandex.ru

³⁾Томский политехнический университет, Томск, Россия, er.gvp@yandex.ru

В настоящей работе методом растровой электронной микроскопии исследована топография поверхности и структура приповерхностных слоев стали 12Х18Н10Т после воздействия мощного импульсного ионного пучка (МИИП). Исследовано влияние облучения МИИП на коррозионные свойства стали.

Введение

Поверхностная обработка металлов и сплавов пучками ускоренных ионов является одним из перспективных направлений в области создания новых конструкционных и функциональных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками [1]. При этом особый интерес представляет использование импульсных ионных пучков для модификации поверхности субмикроструктурных (СМК) и наноструктурированных (НС) материалов, полученных воздействием пластической деформации и обладающих низкой термической стабильностью структуры.

Целью настоящей работы является исследование влияния поверхностной обработки потоком ускоренных ионов на топографию поверхности, а также структуру и свойства (коррозионную стойкость) приповерхностных слоев аустенитной стали в СМК состоянии.

Материал и методика эксперимента

В качестве исследуемого материала использовалась сталь 12Х18Н10Т в СМК состоянии, полученная воздействием пластической деформации. Образец размером 6х10 мм перед облучением подвергался механической шлифовке и полировке на установке LaboPol-5 (Struers).

Поверхностная обработка образца стали проводилась на установке «ТЕМП» [2] потоком ионов S^{1+} с энергией однозарядных ионов 250 кэВ при давлении остаточных газов внутри камеры $(4-5) \cdot 10^{-2}$ Па. Длительность импульса составляла ~100 нс, расчетная плотность тока в импульсе 150 - 200 А/см². Была проведена обработка 1 импульсом при плотности энергии (F) в импульсе 1 и 3 Дж/см², соответственно.

Топографию и структуру поверхности облученных образцов исследовали с помощью растрового электронного микроскопа FEI Quanta 600 FEG.

Исследования стали 12Х18Н10Т на стойкость к межкристаллитной коррозии (МКК) до и после облучения МИИП проводили по ГОСТ 9.914-91 с использованием потенциостата IPC-Pro и стандартной трех-электродной ячейки. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод, а как вспомогательный — углеродный электрод. Перед началом анодной поляризации каждый образец выдерживали в испытательном растворе не менее 1 ч до достижения

стационарного значения потенциала при условии, что изменение потенциала за последние 0.5 ч составляло не более 30 мВ. Анодную поляризацию образцов осуществляли потенциодинамическим методом. На образец подавали потенциал – 0.5 В, затем включали анодную развертку со скоростью $3 \cdot 10^{-3}$ Вс⁻¹, поляризовали образец до 0.3 В. По достижению 0.3 В поляризацию осуществляли в обратном направлении с той же скоростью развертки потенциала. После испытаний образцы промывали в дистиллированной воде и сушили на воздухе.

Результаты и обсуждение

Характерной особенностью рельефа поверхности стали после МИИП ($F \sim 1$ Дж/см²) является наличие кратеров, обладающих кольцевой структурой и однородно распределенных по поверхности образца (рис. 1а).

С увеличением плотности энергии в импульсе до 3 Дж/см² количество (поверхностная плотность) кратеров возрастает, при этом их средний размер также незначительно увеличивается (рис. 1б, таблица 1). Количество сдвоенных или строенных кратеров при плотности энергии 3 Дж/см² существенно выше.

Таблица 1. Параметры кратеров

Плотность энергии в импульсе, Дж/см ²	Средний размер, мкм	Количество (поверхностная плотность), шт/см ²
1	20±2	~2.7·10 ⁴
3	25±2	~4·10 ⁴

Наряду с изменением топографии поверхности после МИИП в приповерхностном слое имеют место структурно – фазовые превращения с образованием более однородной равноосной СМК структуры. Согласно данным ДОЭ – анализа после воздействия 1 импульса МИИП с $F=1$ Дж/см² исходная неоднородная волокнистая структура с коэффициентом неравноосности зерен ($K_{НЗ}$) около 5 и средним размером элементов зеренно – субзеренной структуры ~ 430 нм (рис. 2а) трансформируется в практически равноосную ($K_{НЗ} \sim 1.4$) СМК структуру со средним размером зерна ~ 450 нм (рис. 2б). Сформированная в приповерхностном слое структура имеет преимущественно

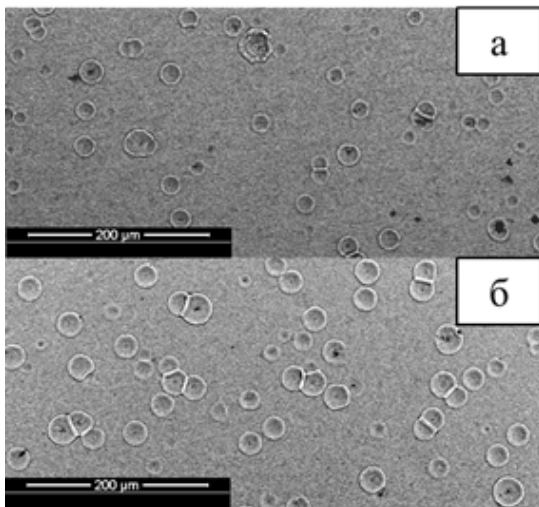


Рис. 1. Топография поверхности стали 12X18H10T после облучения МИИП: а - 1 Дж/см², б - 3 Дж/см²

зеренный, а не субзеренный характер, что подтверждается увеличением доли большеугловых границ (БУГ) с 57% до ~ 90%. Помимо изменения структуры в приповерхностном слое происходит фазовое превращение с образованием α – Fe (ОЦК) (рис. 2в). Для образца, облученного с $F=3$ Дж/см² ДОЭ – анализ не проводился, однако данные РЭМ также подтверждают образование достаточно равноосной СМК структуры с высокой долей БУГ зерен и со средним размером элементов структуры ~ 600 нм (рис. 2г).

Данные испытаний на МКК стали 12X18H10T до и после облучения МИИП представлены на рис. 3. Как видно из рис. 3, при достижении определенного потенциала сталь 12X18H10T переходит в пассивное состояние, которое характеризуется незначительной скоростью растворения. Область пассивации для необлученного состояния начинается при потенциале поляризации порядка -120 мВ, полная пассивация стали происходит при положительном значении потенциала 15 мВ. Для состояний, облученных МИИП наблюдается незначительное смещение области пассивации в сторону положительных значений.

Для облученных МИИП состояний пик пассивации существенно уменьшается по сравнению с исходным необлученным СМК – состоянием. Снижение значения регистрируемых анодных токов для пика реактивации (обратного) свидетельствуют о малой скорости растворения образовавшейся пассивной пленки и о ее стабильности. При этом с увеличением плотности энергии в импульсе оксидная пленка становится более стабильной к растворению.

Стойкость стали 12X18H10T к межкристаллитной коррозии оценивали по коэффициенту реактивации, который определяли как соотношение площади пика пассивации к площади пика реактивации. Согласно ГОСТ 9.914-91, данное соотношение должно быть меньше 0.11, если сталь

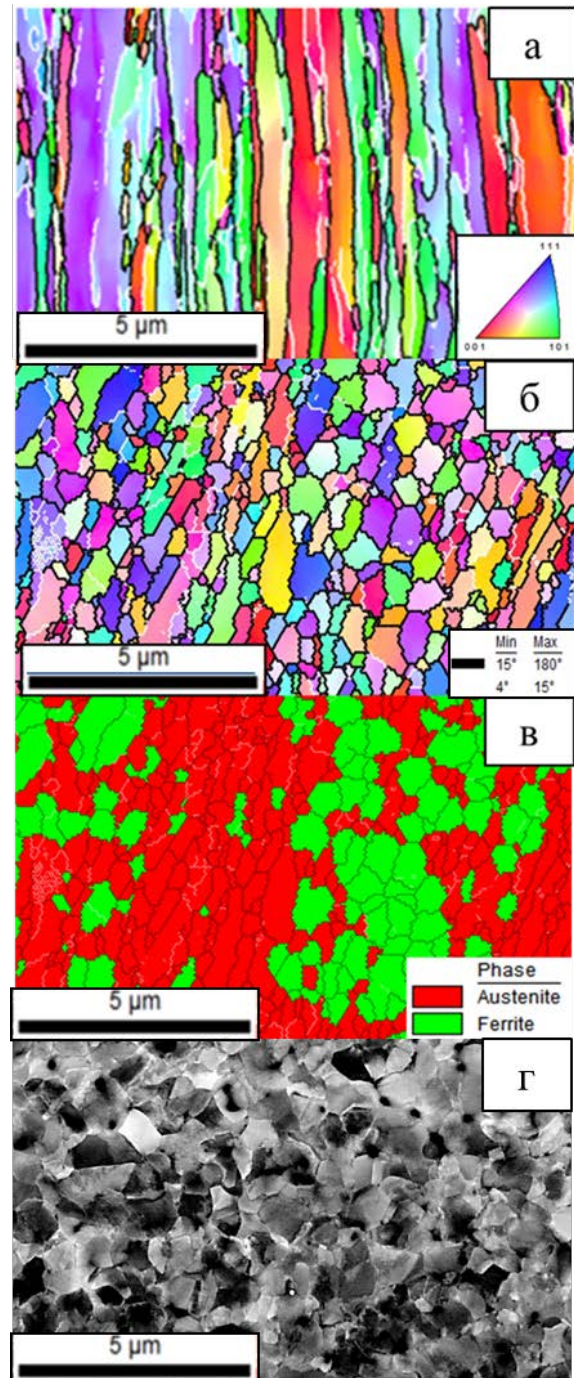


Рис. 2. Карты распределения кристаллографических ориентировок в цветовой гамме кристаллографического треугольника ГЦК аустенита стали 12X18H10T в исходном состоянии (а) и после воздействия МИИП с $F=1$ Дж/см² (б); карта распределения фаз после МИИП с $F=1$ Дж/см² (в); микроструктура приповерхностного слоя после МИИП с $F=3$ Дж/см² (г)

является стойкой к межкристаллитной коррозии. После облучения МИИП сталь 12X18H10T остается стойкой к межкристаллитной коррозии, K_R для состояний, облученных с энергией 1 и 3 Дж/см²,

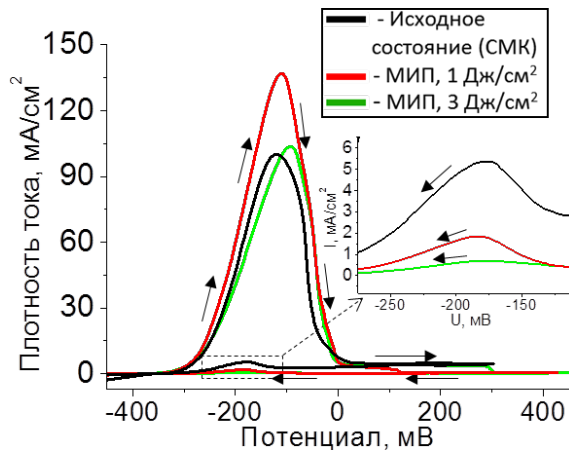


Рис. 3. Поляризационные кривые стали 12X18H10T до и после облучения МИП

уменьшается более чем на порядок по сравнению с коэффициентом реактивации для исходного СМК состояния стали (таблица 4.2). Морфология поверхности образца после испытаний на МКК представлена на рисунке 4.

Таблица 2. Данные коррозионных испытаний

Состояние	КЗ	СМК	1 Дж/см ² , 1 имп.	3 Дж/см ² , 1 имп.
$E_{ст}$, мВ	-370	-364	-383	-387
K_R	0.07	0.034	0.006	0.004

где $E_{ст}$ – стационарный потенциал; K_R – коэффициент реактивации

Улучшение стойкости стали к межкристаллитной коррозии после поверхностной обработки МИИП, по всей видимости, может быть обусловлено структурно – фазовыми превращениями в приповерхностном слое. Так, измельчение зеренной структуры и повышение плотности границ зерен может приводить к увеличению путей для диффузии к поверхности хрома для создания защитной пассивирующей оксидной пленки [3].

Также в результате воздействия пучка ускоренных ионов возможна абляция с приповерхностного слоя ухудшающих коррозионную стойкость примесных элементов с относительно низкими температурами плавления и испарения (например, Mn и S) [4].

THE STRUCTURE AND CORROSION PROPERTIES OF THE SURFACE LAYERS OF STEEL 12CR18NI10TI IRRADIATED BY HIGH-POWER PULSED ION BEAM

M.V. Zhidkov¹, M.Yu. Gazizova¹, A.E. Ligachev², Yu.R. Kolobov^{1,3}, G.V. Potemkin⁴

¹Belgorod State National Research University,

Belgorod, Russia, zhidkov@bsu.edu.ru, smolyakovamarina@bsu.edu.ru

²Institute of general physics by A.M. Prohorov of the RAS, Moscow, Russia, carbin@yandex.ru

³Tomsk politechnical university, Tomsk, Russia, ep.gvp@yandex.ru

Surface topography and structure of subsurface layers of steel 12Kh18N10T after irradiation (high-power ion beam, C⁺, 250 keV) were characterized by scanning electron microscopy. The influence of the impact of HPIB on the corrosion properties of steel was investigated.

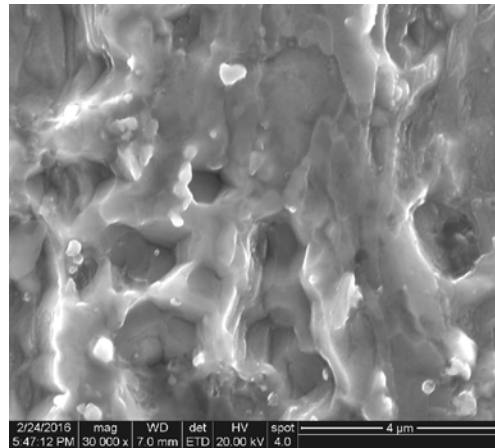


Рис. 4. Морфология поверхности облученного образца стали 12X18H10T (3Дж/см², 1 импульс) после испытаний на межкристаллитную коррозию

Заключение

Облучение аустенитной стали 12X18H10T 1 импульсом МИИП приводит к появлению на ее поверхности дефектов типа кратеров и модификации структурно – фазового состояния приповерхностного слоя с образованием более равномерной субмикроструктурной структуры с высокой долей большеугловых границ зерен. Фазовый состав приповерхностных слоев стали представлен аустенитом и ферритом. Обнаружено улучшение стойкости стали к межкристаллитной коррозии после поверхностной обработки МИИП.

Список литературы

1. Remnev G.E., Shulov V.A. Application of high-power ion beams for technology. *Laser and Particle Beams*. 1993. V. 11. № 4. P.707-731.
2. Isakov I.F., Kolodii V.N., Opekunov M.S., Matvienko V.M., Pechenkin S.A., Remnev G.E., Ussov Yu.P. // *Vacuum*. 1999. V. 42. № 1-2. P. 159-162.
3. Ye W., Li Y., Wang F.H. // *Electrochim. Acta*. 2006. V. 51. P. 4426–4432.
4. Wang X. et al. / *Materials Science and Engineering. A*. 2007. V. 457. P. 84-89.