ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОГО СОСТОЯНИЯ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИОННОГО ПУЧКА

М.В. Жидков[1)], Е.В. Голосов[1)], Г.В. Потемкин[3)], М.Ю. Газизова[2)], С.К. Павлов[3)]
[1)]*ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН, пр. академика Семенова 1, Черноголовка 142432, Россия, zhidkov@icp.ac.ru, golosov@icp.ac.ru*
[2)]*Томский политехнический университет, ул. Ленина 2а, Томск 634050, Россия, ep.gvp@yandex.ru*
[3)]*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Королева 2а, Белгород 308034, Россия, smolyakovamarina@bsu.edu.ru*

Методами растровой электронной микроскопии и EBSD – анализа исследовано влияние предварительной термомеханической обработки материала-мишени на структуру и фазовый состав модифицированного приповерхностного слоя после воздействия мощного импульсного ионного пучка. На примере стали 12Х18Н10Т показано, что размер зерна, доля высокоугловых границ зерен и соотношение фаз аустенит/феррит в модифицированном слое при одинаковых параметрах ионного облучения зависят от ее исходного структурно-фазового состояния.

Ключевые слова: нержавеющая сталь; мощный импульсный ионный пучок; структура.

INFLUENCE OF THE INITIAL STATE ON THE STRUCTURE OF THE SURFACE LAYER OF STEEL AFTER HIGH-POWER ION BEAM EXPLOSURE

M.V. Zhidkov[1)], E.V. Golosov[1)], G.V. Potemkin[2)], M.Yu. Gazizova[3)], S.K. Pavlov[2)]
[1)]*Federal Research Center for Problems of Chemical Physics and Medical Chemistry, Russian Academy of Sciences, 1 Academician Semenov Ave., 142432 Chernogolovka, Russia, zhidkov@icp.ac.ru, golosov@icp.ac.ru*
[2)]*Tomsk Polytechnic University, 2a Lenina Str., 634050 Tomsk, Russia, ep.gvp@yandex.ru*
[3)]*Belgorod State National Research University, 2a Koroleva Str., 308034 Belgorod, Russia, smolyakovamarina@bsu.edu.ru*

The effect of preliminary thermomechanical processing of the AISI 321 steel on the structure and phase composition of the modified near–surface layer after exposure to a high-power pulsed ion beam was studied by scanning electron microscopy and EBSD. It was found that at the same irradiation parameters the grain size, the proportion of high-angle grain boundaries, and the austenite/ferrite phase ratio depend on the initial structural-phase state of the steel. For pre-deformed samples, the formation of a more equiaxed-recrystallized structure of the surface layer and an increase in the proportion of high-angle grain boundaries were observed. In case of pre-recrystallized samples a decrease in the average grain size and an increase in the content of low-angle boundaries were detected. It was shown that the heterogeneity of the structure of the material acquired after plastic deformation persists even after subsequent HPPIB processing.

Keywords: stainless steel; high-power pulsed ion beam; structure.

Введение

Хорошо известно, что мощный импульсный ионный пучок (МИИП), воздействуя на поверхность металлов и сплавов может приводить к существенному изменению ее структурно-фазового состояния. В частности, в ряде работ сообщалось об измельчении структуры поверхностного слоя, в том числе формировании ультрамелкозернистой равноосной структуры [1, 2] после воздействия МИИП. Несмотря на то, что обработка ионным пучком показала улучшение ряда эксплуатационных свойств материалов [3], закономерности

изменения структуры и фазового состава поверхностных слоев при таком воздействии остаются практически не изученными. В частности, не исследован вопрос о влиянии исходной структуры и фазового состава материала на структуру и фазовый состав поверхностного слоя после воздействия МИИП.

В данной работе мы рассматриваем этот вопрос на примере аустенитной нержавеющей стали.

Материал и методика

В качестве объекта исследований была выбрана аустенитная сталь 12Х18Н10Т. Для получения различных структурно-фазовых состояний, с отличающимися размером зерен, соотношениями фаз γ-Fe/α-Fe и долей высоко- и малоугловых границ зерен нами была проведена предварительная термомеханическая обработка (ТМО) образцов стали по режимам, указанным в таблице 1.

Таблица 1. Исходные состояния стали, использованные в эксперименте

Образец, №	ТМО
1	Пластическая деформация, ε=1, T=25°C
2	Пластическая деформация, ε =1, T=400°C
3	Отжиг, T=1050°C

где ε – степень деформации, T – температура обработки

Из полученных продольной прокаткой прутков стали на электроискровом станке (Sodick) вырезались образцы – мишени размером 10x10 мм (образец № 1 и № 2). Поскольку для продольной прокатки характерна неоднородность деформации по сечению прутка, структуру стали исследовали в трех областях образца: центр, половина радиуса (0.5 R) и периферия (рис. 1).

Облучение образцов МИИП проводили на ускорителе ТЕМП (поток ионов C^{n+} с энергией однозарядных ионов 250 кэВ, длительность импульса ~ 100 нс, расчетная плотность тока в импульсе 150 - 200 А/см^2). Образцы 1-3 обрабатывали 10 импульсами при плотности энергии одиночного импульса (F = 3 Дж/см^2). Плотность мощности одиночного импульса составляла ~ $3\cdot10^7$ Вт/см^2. Область равномерной обработки в таком режиме составляла порядка 4 см^2.

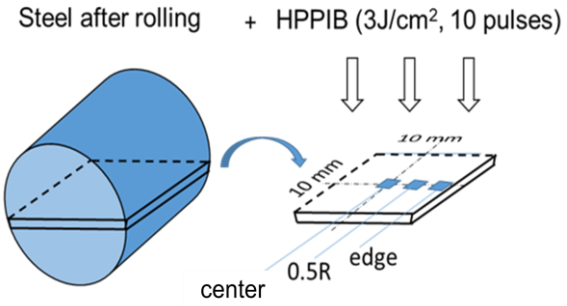

Рис. 1. Схема вырезки образцов стали для последующей обработки МИИП

Изменения структуры поверхности образцов до и после обработки МИИП исследовали методом растровой электронной микроскопии (микроскопы FEI Quanta 600, FEI Nova Nanosem 450) с применением метода дифракции отраженных электронов (EBSD – анализ).

Результаты и их обсуждение

Согласно данным микроскопии, ТМО образцов по режимам 1 и 2 приводит к измельчению структуры стали 12Х18Н10Т с формированием деформированной неоднородной субмикрокристаллической структуры. В результате холодной пластической деформации образец № 1 переходит в двухфазное состояние с долей α-Fe порядка 50%. Фазовый состав образца № 2 не изменяется.

Последующая обработка МИИП существенным образом изменяет структуру поверхностного слоя обоих образцов. В частности, происходит увеличение среднего размера зерна (рис. 2а) и увеличение доли высокоугловых границ зерен (рис. 2б). При этом неоднородность структуры материала по сечению образца (центр-край), приобретенная после пластической деформации, сохраняется и после последующей обработки МИИП. Доля α-Fe для образца № 1 значительно снижается, образец № 2 остается однофазным (γ-Fe).

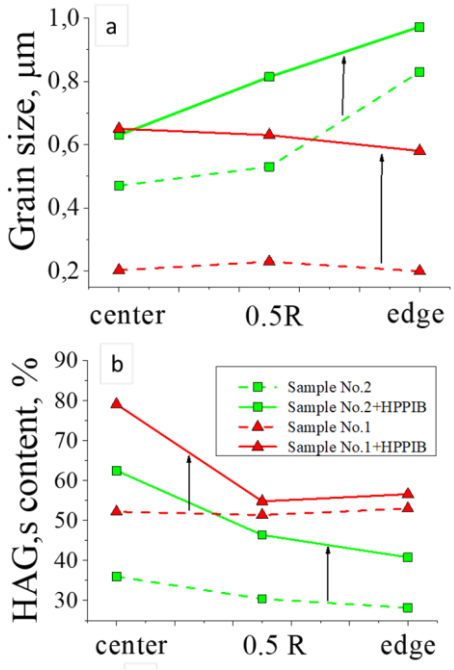

Рис. 2. Средний размер зерна (a) и доля ВУГ зерен (b) для образцов № 1 и № 2 до и после обработки МИИП (3 Дж/см^2, 10 импульсов)

Если образец перед обработкой МИИП уже обладал рекристаллизованной структурой, воздействие МИИП не приводит к формированию ультрамелкозернистой структуры (образец № 3). Оценка разброса ориентации зерна (grain orientation spread или GOS) [4] показала существенное уменьшение этого параметра для образцов № 1 и № 2 и более чем двукратный рост для образца № 3 (рисунок 3) после воздействия МИИП.

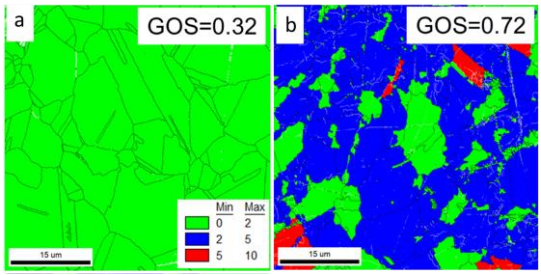

Рис. 3. Карты разброса ориентации зерен (GOS) для образца №3 до (a) и после (b) обработки МИИП (3Дж/см^2, 10 импульсов)

Данные EBSD – анализа подтверждаются измерением микротвердости. Микротвердость приповерхностных слоев образцов № 1 и № 2 после воздействия МИИП снижается, а для № 3 наблюдается ее увеличение.

Заключение

Структура и фазовый состав модифицированного поверхностного слоя стали 12Х18Н10Т после обработки МИИП (3Дж/см^2, 10 импульсов) существенно зависит от ее структуры и фазового состава до поверхностной обработки. Для предварительно-деформированных образцов наблюдается формирование более равноосной рекристаллизованной структуры поверхностного слоя, увеличение доли высокоугловых границ зерен и уменьшение микротвердости. Для предварительно-рекристаллизованных образцов, напротив, наблюдается уменьшение среднего размера зерна, увеличение доли малоугловых границ и микротвердости. Неоднородность структуры исходных образцов сохраняется после воздействия МИИП.

Библиографические ссылки

1. Wang X., Lei M. K., Zhang J. S., Surface modification of 316L stainless steel with high-intensity pulsed ion beams. *Surface & Coatings Technology* 2007; (201): 5884-90.
2. A. E. Ligachev, Yu. R. Kolobov, M. V. Zhidkov, E. V. Golosov, G. V. Potemkin & G. E. Remnev Pulsed ion beam induced changes in a submicrocrystalline structure of the near surface layers of austenite steel. *Inorganic Materials: Applied Research* 2016; (7): 325-29.
3. Korotaev A.D., Tyumentsev A.N., Pinzhin Yu.P., Remnev G.E. Features of the morphology, defect substructure, and phase composition of metal and alloy surfaces upon high-power ion beam irradiation. *Surface & Coatings Technology* 2004; (185): 38-49.
4. Brewer L.N., Field D.P., Merriman C.C. (2009) In: Kumar M, Adams BL, Field DP, Schwartz AJ (eds) Electron backscatter diffraction in materials science. Springer: New York; 2009, p 251.