

А. М. ЖУКЕШОВ, А. Т. ГАБДУЛЛИНА, А. У. АМРЕНОВА, С. П. ПАК,

Ж. МОЛДАБЕКОВ, М. МУХАМЕДРЫСҚЫЗЫ, А. КАЙБАР

(Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы)

К ВОЗДЕЙСТВИЮ ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Аннотация

В работе представлены результаты проведения исследований по влиянию воздействия импульсной плазмы на физико-механические характеристики и структуру поверхности нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Эксперимент проводился при различных вариациях давления, плотности потока энергии и количества импульсов. При анализе результатов были использованы рентгеноструктурный и металлографический методы анализа. Обнаружено формирование упрочняющих аустенитной и нитридной фаз. При этом микротвердость увеличивается в 3 раза по сравнению с исходным состоянием.

Ключевые слова: импульсная плазма, упрочняющие фазы, структура, поверхность, рентгеноструктурный анализ, кристаллиты.

Кілт сөздер: импульсті плазма, беріктілікті арттыратын фаза, құрылым, жазық бет, рентгенқұрылымдық талдама, кристаллиттер.

Keywords: pulsed plasma, hardening phases, structure, surface, X-ray diffraction analyze, crystallites.

Широко применяемый в последнее время метод модификации поверхности металлических материалов высокотемпературным плазменным потоком позволяет целенаправленно изменять их структурно-фазовое состояние, химический состав и получать поверхности с улучшенными физико-механическими характеристиками.

Особенности импульсного плазменного воздействия [скорость охлаждения материала после интенсивного нагрева до 10^6 – 10^8 К/с, процессы, сопровождающие взаимодействие импульсной плазмы с поверхностью материала (ударная волна и диффузия внедренных частиц)], предполагают возможность формирования упрочняющих фаз на поверхности сталей [1]. Путем подбора определенных условий обработки, к примеру давления плазмообразующего газа в рабочей камере, плотности потока энергии плазмы и

количества воздействий, можно достигнуть нагрева поверхности стали до температуры возможной модификации структуры поверхности и образованию фаз, приводящих к упрочнению некоторого слоя.

Для проведения исследований был использован импульсный плазменный ускоритель, разработанный и модернизированный в лаборатории экспериментального блока отдела физики плазмы НИИЭТФ [2]. Анализ данных проводился с помощью рентгеноструктурного метода (дифрактометр D8 ADVANCE (Bruker) с монохроматором на дифрагированном пучке), металлографии (микроскоп «Метавал») и растровой электронной микроскопии.

В качестве исследуемого материала были выбраны образцы нержавеющей стали 12Х18Н10Т размерами 1×1×0,5 см. Обработка импульсной плазмой проводилась в интервале изменений плотности энергии 8–40 Дж/см² при однократном и 20–30 Дж/см² при многократном воздействии. Экспериментальные значения давления в рабочей камере ускорителя 0,04, 0,1 и 0,5 Торр. В качестве плазмообразующего газа использовали воздух.

Данные рентгеноструктурного анализа образцов стали 12Х18Н10Т после однократной обработки представлены в таблице 1.

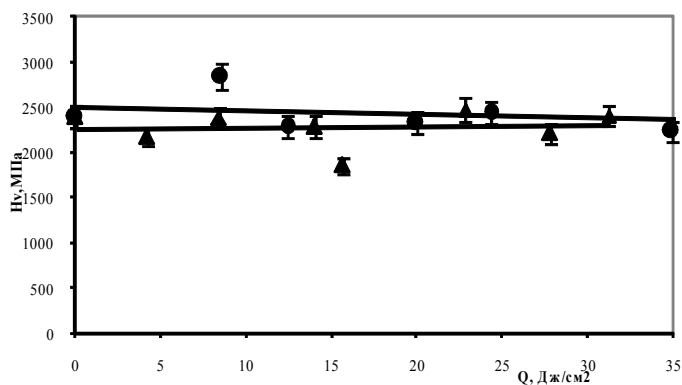
При однократном воздействии импульсной плазмы при давлении 0,04 Торр. в поверхностном слое нержавеющей стали 12Х18Н10Т обнаружено значительное понижение интенсивности линий аустенита с увеличением Q. В образцах № 3,4 обнаружено образование двух фаз со структурой аустенита, близкой к Cr_{0,19}Fe_{0,7}Ni_{0,11}, но различными параметрами ГЦК решетки. Причем содержание второй фазы составляет примерно треть от содержания основной фазы аустенита, а параметр ее – больше. Различие в параметре решетки, возможно, связано с деформацией по глубине образца. С увеличением плотности энергии, падающего на образец плазменного потока Q, вторая фаза аустенита исчезает (обр. № 1, 3). В незначительном количестве присутствует также цементит.

Таблица 1 – Данные рентгеноструктурного анализа

№ образца	Q, Дж/см ²	фаза	a, Å	I _{max} , абс. ед.	L, Å
Исходный	0	Cr _{0,19} Fe _{0,7} Ni _{0,1} 1	3.5824±0.0006	902	1560
		Fe ₅ C ₂	–	18.2	–
№1	8,5	Cr _{0,19} Fe _{0,7} Ni _{0,1} 1	3.5824±0.0006	1490	470
		Fe	2.8650±0.0007	56.2	747

№3	19,95	$\text{Cr}_{0,19}\text{Fe}_{0,7}\text{Ni}_{0,1}$ 1	3.5843 ± 0.0006	622	700
			3.5901 ± 0.0006	253	
		Fe	2.8647 ± 0.001	27.9	1135
№4	27,1	$\text{Cr}_{0,19}\text{Fe}_{0,7}\text{Ni}_{0,1}$ 1	3.5862 ± 0.0006	727	560
			3.5949 ± 0.0008	63.3	
№5	34,9	$\text{Cr}_{0,19}\text{Fe}_{0,7}\text{Ni}_{0,1}$ 1	3.5868 ± 0.0006	751	530
№6	39,25	$\text{Cr}_{0,19}\text{Fe}_{0,7}\text{Ni}_{0,1}$ 1	3.5866 ± 0.0006	815	470

Измерения микротвердости поверхности по Виккерсу (H_V) показывают, что с увеличением давления P ее величина растет незначительно, а с увеличением плотности энергии Q практически не изменяется (рисунок 1).



● – $P = 0,04$ и ▲ – $P = 0,1$ Топр

Рисунок 1 – Зависимость микротвердости по поверхности от плотности энергии

С увеличением кратности обработки (до 10, 20 и 30) структура поверхности образцов нержавеющей стали 12X18H10T модифицируется с образованием твердого раствора, в котором основными становятся две фазы: аустенит – $\text{Cr}_{0,19}\text{Fe}_{0,7}\text{Ni}_{0,11}$ и нитрид железа. Элементный состав нитрида железа выражен формулой $\text{FeN}_{0,056}$.

Сопоставляя с данными, полученными нами для углеродистых сталей [3], можно сделать вывод о том, что существенные изменения в формировании основного состава твердого раствора сталей происходят при обработке первыми 5–10 импульсами. Увеличение же количества импульсов может приводить к расплавлению и рекристаллизации уже сформировавшихся соединений, дроблению крупных кристаллитов и, таким образом, к упрочнению обработанного слоя.

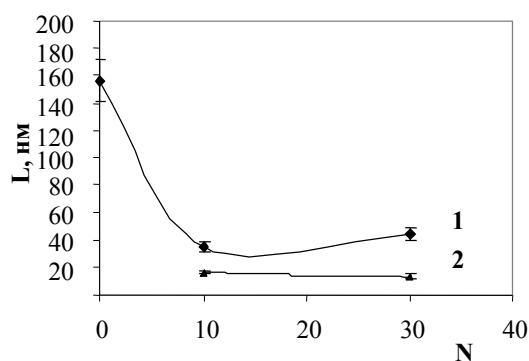
В случае многократной обработки измерение микротвердости обработанной поверхности показало ее значительное увеличение (почти в 3 раза) по сравнению с исходным состоянием и практически линейную зависимость H_V от кратности воздействия N . Рост микротвердости может быть обусловлен внедрением плазмообразующего газа в поверхностный слой при расплавлении и формированием аустенитной и нитридной фаз и уменьшением размеров кристаллитов при многократном воздействии (рисунки 2, 3).

Результаты определения размеров кристаллитов по методу Шеррера показали, что после 10-кратного воздействия плазмы воздуха наблюдается резкое уменьшение размеров кристаллитов аустенитной фазы, что может быть связано с процессами выделения новой фазы $FeN_{0.056}$ и обеднения матричной $Cr_{0.19}Fe_{0.7}Ni_{0.11}$, сопровождающими формирование двухфазного раствора при естественном старении сплава. Дальнейшая обработка приводит к незначительному укрупнению кристаллитов аустенита за счет коагуляции этой фазы [4]. В данном случае использование воздуха в качестве плазмообразующего газа при увеличении кратности обработки позволяет легировать поверхность стали 12X18H10T с формированием нитридов и карбидов, ответственных за упрочнение обрабатываемого материала.

Таблица 2 – Фазовый состав нержавеющей стали 12X18H10T после многократной обработки

№ образца	N	Q, Дж/см ²	Фаза	a, Å	I _{max} , абс. ед.	L, Å
4 (исх.)	0	–	$Cr_{0.19}Fe_{0.7}Ni_{0.11}$	3.5898±0.0006	902.0	1560
1	20	23.1	$Cr_{0.19}Fe_{0.7}Ni_{0.11}$	3.5896±0.0015	578.0	480
			$FeN_{0.056}$	3.6104±0.0011		123
2	30	30.1	$Cr_{0.19}Fe_{0.7}Ni_{0.11}$	3.5892±0.0006	410.0	440
			$FeN_{0.056}$	3.6162±0.0026		133
3	10	27.2	$Cr_{0.19}Fe_{0.7}Ni_{0.11}$	3.5873±0.0006	455.0	350
			$FeN_{0.056}$	3.6113±0.004		163

Рисунок 2 – Изменение микротвердости поверхности образцов стали 12X18H10T в зависимости от кратности воздействия плазмы воздуха



1 – аустенит, 2 – нитрид железа

Рисунок 3 – Изменение размера кристаллитов фаз аустенита и нитрида железа стали 12X18H10T

в зависимости от кратности обработки

Таким образом, в результате исследования воздействия импульсной плазмы на формирование упрочняющих фаз и свойства поверхности нержавеющей стали 12X18H10T можно сделать следующие выводы:

1) основным параметром, приводящим к модификации структуры поверхности, является кратность воздействия.

2) при увеличении кратности обработки до 30 импульсов наблюдается практически линейный рост микротвердости почти в 3 раза, и он обусловлен формированием аустенитной и нитридной фаз и уменьшением размера кристаллитов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Tereshin V.I. et al. Pulsed plasma accelerators of different gas ions for surface modification // Rev. Sci. Instrum. – 2002. – V. 73(2). – P. 831-833.

2 Ibraev B.M. Peculiarities of the generation of a plasmoid in a pulsed coaxial accelerator // Engineering Thermophysics. – 2003. – V. 12, N 2. – P. 65-69.

3 Жукешов А.М., Габдуллина А.Т., Амренова А.У., Пак С.П. Возможности модификации поверхности материалов при плазменном воздействии // Докл. Международной балтийской школы по физике твердого тела и магнетизму. – Светлогорск (Калининградская обл.), 2012. – С. 17-19.

4 Уманский Я.С. и др. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. – М.: Металлургия, 1982. – С. 406-409.

REFERENCES

- 1 Tereshin V.I. et al. Pulsed plasma accelerators of different gas ions for surface modification // Rev. Sci. Instrum. – 2002. – V. 73(2). – P. 831-833 (in Eng.).
- 2 Ibraev B.M. Peculiarities of the generation of a plasmoid in a pulsed coaxial accelerator // Engineering Thermophysics. – 2003. – V. 12, N 2. – P. 65-69 (in Eng.).
- 3 Zhukeshov A.M., Gabdullyna A.T., Amrenova A.U., Pak S.P. The possibility of modifying the surface of the material by plasma effect // Dokl. Baltic International School on solid state physics and magnetism, Svetlogorsk (Kaliningrad region), 2012. – P. 17-19 (in Russ.).
- 4 Umansky Ya.S. and others. Crystallography, X-ray diffraction and electron microscopy. M., Metallurgy, 1982, P. 406-409 (in Russ.).

Резюме

*Ә. М. Жүкешов, А. Т. Ғабдуллина, Ә. У. Әмренова, С. П. Пак,
Ж. Молдабеков, М. Мұхамедырысқызы, А. Қайбар*

(Эксперименталды және теориялық физика ғылыми-зерттеу институты,
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ.)

ИМПУЛЬСТІ ПЛАЗМАНЫҢ ТОТ БАСПАЙТЫН БОЛАТ БЕТІНЕ ӘСЕРІНЕ

Жұмыста 12Х18Н10Т тот баспайтын болат бетінің құрылымы мен физика-механикалық сипаттама-ларына импульсті плазманың әсерін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Тәжірибе қысымның, энергия ағыны тығыздығының және импульс санының әртүрлі мәндерінде жүргізілді. Нәтижелер талдамасына рентген-құрылымдық және металлографиялық талдау әдістері қолданылды. Беріктілікті арттыратын аустенитті және нитридті фазалардың құрылуы айқындалды. Сонымен қатар қаттылық бастапқы жағдайға карағанда 3 есе артады.

Кілт сөздер: импульсті плазма, беріктілікті арттыратын фаза, құрылым, жазық бет, рентгенқұрылымдық талдама, кристаллиттер.

Резюме

A. M. Zhukeshov, A. T. Gabdullyna, A. U. Amrenova, S. P. Pak,

Zh. Moldabekov, M. Mukhamedryskyzy, A. Kaybar

(Scientific-Research Institute of Experimental and Theoretical Physics,
al-Farabi Kazakh National University, Almaty)

FOR A PULSED PLASMA INFLUENCE ON SURFACE OF STAINLESS STEEL

The paper presents the results of investigation of pulsed plasma influence on physical and mechanical properties and structure of the stainless steel surface. Experiment was provided by different variation of pressure, density of energy flow and number of impulse. For analyze results were used X-ray diffraction and metallographic methods of analyze. The formation of hardening austenitic and nitride phases was observed. In this case, the hardness increases for 3 times compared with original state.

Keywords: pulsed plasma, hardening phases, structure, surface, X-ray diffraction analyze, crystallites.

Поступила 27.03.2013г