

«Международный салон средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность - 2016»»: в 2 частях. – Ногинск, 2016. – С. 367-375.

3. Боков С.С. О необходимости совершенствования расчетной методик и определения противопожарных расстояний [Текст] / Боков С.С., Фирсова Т.Ф. // Научный журнал. – 2017. – № 5(18). – С. 24-26.

4. Ерощенко М.О. Противопожарные экраны как способ предотвращения распространения пожара на объектах малоэтажной жилой застройки в городской черте [Текст] / Ерощенко М.О., Мамин В.С. // Техносферная безопасность : Материалы Второй межвузовской научно-технической конференции с международным участием : – Омск, 2015. – С. 105-106.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АУСТЕНИТНЫХ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ ПУТЕМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Асанова Д.С., Озерец Н.Н., Березовская В.В.

Уральский федеральный университет г. Екатеринбург, Россия

dasha_asanova16@mail.ru, ozerecs@mail.ru, ber6141@yandex.ru

Аннотация. В настоящей работе проводится исследование влияния имплантации ионов азота в поверхность аустенитных коррозионностойких сталей для повышения их функциональных свойств. В качестве материала исследования были взяты четыре марки аустенитных коррозионностойких сталей 02X16H10M2, 08X15AG10D2, 06X15AG9NM2 и 09X15AG9ND2 после холодной пластической деформации и отжига 680 °С в воде и последующей имплантации ионами N⁺ с разной дозой облучения. Установлено, что облучение ионами азота аустенитных коррозионностойких сталей можно считать эффективным способом для повышения твердости, а также условного предела текучести при эксплуатации сталей в коррозионной среде.

Ключевые слова: сталь, аустенит, имплантация азота, твердость, коррозионная стойкость.

MODIFICATION OF THE STRUCTURE OF AUSTENITE CORROSION-RESISTANT STEELS BY ION IMPLANTATION

Asanova D., Ozerets N., Berezovskaya V.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. Work is devoted to studying the effect of implantation of nitrogen ions into the surface of austenitic stainless steels to improve their functional properties. As a research material, four grades of austenitic corrosion-resistant steels 02H16N10M2, 08H15AG10D2, 06H15AG9NM2 and 09H15AG9ND2 were taken after cold plastic deformation and annealing from 680 °C in water and subsequent implantation with N⁺ ions with different radiation dose. It was found that irradiation of austenitic stainless steels with nitrogen ions can be considered an effective way to increase the hardness and yield strength of steels in the operation in a corrosive environment.

Key words: steel, austenite, nitrogen implantation, hardness, corrosion resistance.

Развитие техники предъявляет к сталям в различных сферах применения требования повышенной прочности и экономичности. В течение последних 20-30 лет существенное внимание в нашей стране и за рубежом уделяется проблеме ионной модификации поверхностей конструкционных материалов. По сравнению с традиционными методами химико-термической обработки ионная имплантация позволяет в десятки раз сократить время и резко понизить температуру обработки, а также повысить защитные и прочностные свойства изделий [1-3].

Целью данной работы является исследование возможных механизмов структурообразования, фазового состава, физико-механических и служебных свойств сталей аустенитного класса разного состава после бомбардировки ионами азота N⁺. Исследовали четыре марки коррозионностойких сталей (02X16H10M2, 08X15AG10D2, 06X15AG9NM2 и 09X15AG9ND2). Образцы для исследования были вырезаны из тонкого (1 мм) листа, полученного холодной прокаткой с последующим отжигом 680°C и имплантацией ионами N⁺ с разной дозой облучения. После облучения образцы подвергали рекристаллизационному отжигу при температуре 300°C в течение 1 часа. Химический состав сталей приведен в табл.1.

Для решения поставленной цели была использована установка ионной имплантации по двустороннему облучению образцов пучком газовых ионов с энергией до 40 кэВ. Имплантацию ионов азота в исследуемые стали проводили по двум режимам: доза облучения в режиме 1 составила $4,2 \cdot 10^{15}$ ион/см², в режиме 2 – $4,2 \cdot 10^{17}$ ион/см², концентрация внедренного азота в первом случае составила 0,024, а во втором – 0,027 масс.%. Механические испытания образцов на одноосное растяжение проводили, согласно ГОСТ 11701-84 с использованием машины TiniusOlsenH50KS, результаты испытаний приведены в табл. 2. Микроструктуру стали исследовали на металлографическом инвертированном цифровом комплексе Axio Zoom.V16 производства Carl Zeiss с использованием программы анализа изображения SIAMS 700. Твердость определяли на приборе Виккерса при нагрузке 0,049 кН. Рентгеноструктурный метод применяли для определения фазового состава сталей и параметров кристаллической решетки. Съёмку проводили на Рентгеновский дифрактометр XRD-7000. По результатам рентгеноструктурного исследования структура сталей до облучения в пределах точности метода состояла только из аустенита, и образцы не намагничивались постоянным магнитом.

Таблица 1 – Химический состав сталей

№ образца	Марка стали	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	N
2	02X16H10M2	0,018	0,51	1,38	0,001	0,023	16,12	10,17	2,04	-	0,037
5	08X15AG10D2	0,080	0,32	9,78	0,002	0,030	14,50	0,16	-	1,62	0,163
6	06X15AG9HM2	0,060	0,32	9,20	0,003	0,025	14,80	0,95	1,68	-	0,166
15	09X15HAG9D2	0,094	0,34	8,98	0,005	0,060	15,35	1,16	0,10	1,66	0,133

Таблица 2 – Механические свойства сталей

№ образца	Марка стали	Режим облучения	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	φ , %
2	02X16H10M2	-	220	580	31	40
		1	280	650	21	30
		2	280	640	37	42
5	08X15AG10D2	-	520	1050	39	40
		1	450	840	22	23
		2	470	1130	46	25
6	06X15AG9HM2	-	370	870	43	42

		1	330	730	27	27
		2	360	930	49	41
15	09X15НАГ9Д2	-	510	970	37	40
		1	490	880	23	24
		2	460	980	48	41

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что самую низкую прочность и пластичность имеет сталь 02X16Н10М2, в которой содержание азота значительно ниже, чем в остальных сталях. Наиболее высокие свойства показали стали 08X15АГ10Д2 и 09X15НАГ9Д2, в которых, помимо азота, содержится медь. Причем, это согласуется с тем, что никель повышает растворимость меди в аустените. Поэтому в стали 08X15АГ10Д2 эффект деформационного старения при механических испытаниях выражен слабее, чем в стали 09X15НАГ9Д2, а, следовательно, прочность ниже.

Микроструктура сталей 02X16Н10М2 и 08X15АГ10Д2 в исходном состоянии представляла собой мелкозернистый двойникованный аустенит (рисунок 1, а, б). В стали 06X15АГ9НМ2 также наблюдали аустенит с двойниками отжига, но с более крупным зерном (рисунок 1, в). Аустенитная структура с ультрадисперсным зерном (4 мкм) наблюдалась в стали 09X15НАГ9Д2 (рисунок 1, г).

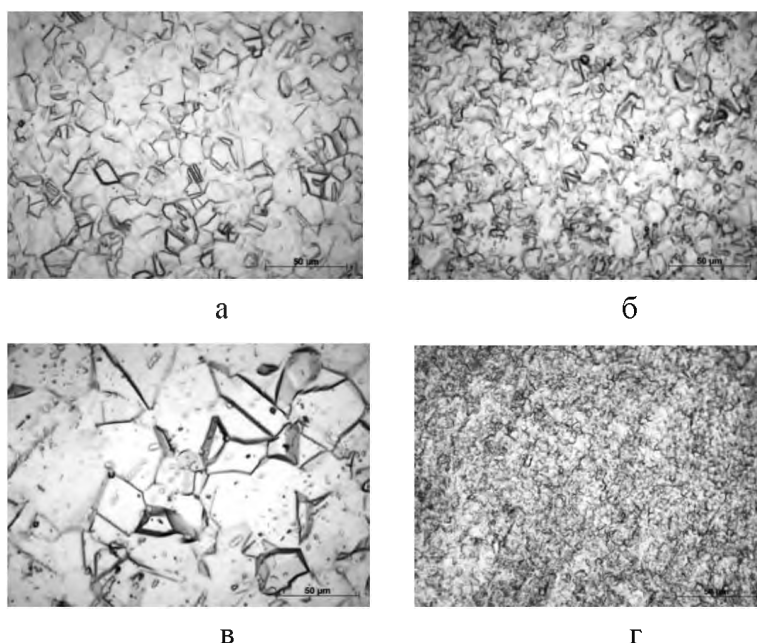


Рисунок 1 – Микроструктура сталей в исходном состоянии:
а – сталь № 2; б – сталь № 5; в – сталь № 6; г – сталь № 15

Микроструктура всех исследованных сталей после облучения по режиму 1 и рекристаллизации выявила некоторое измельчение зерна аустенита. Структура сталей 02X16H10M2 и 08X15AG10D2 мало изменилась под действием облучения (рисунок 2, 3; а, б), как и аустенитная структура с ультрадисперсным зерном (2–4 мкм) в стали 09X15AG9HD2 (рисунок 2, 3; г). В стали 06X15AG9HM2 наблюдался аустенит с двойниками отжига, но с более крупным зерном. В процессе рекристаллизационного отжига в стали по границам зерен выделились карбиды, предположительно Cr₂₃C₆, что привело к обеднению \square -твердого раствора, понижению температуры начала рекристаллизации стали и, как следствие, к увеличению размера зерна по сравнению с остальными сталями. Дальнейшее измельчение зерна аустенита после бомбардировки ионами азота по режиму 2 не наблюдалось (рисунок 3).

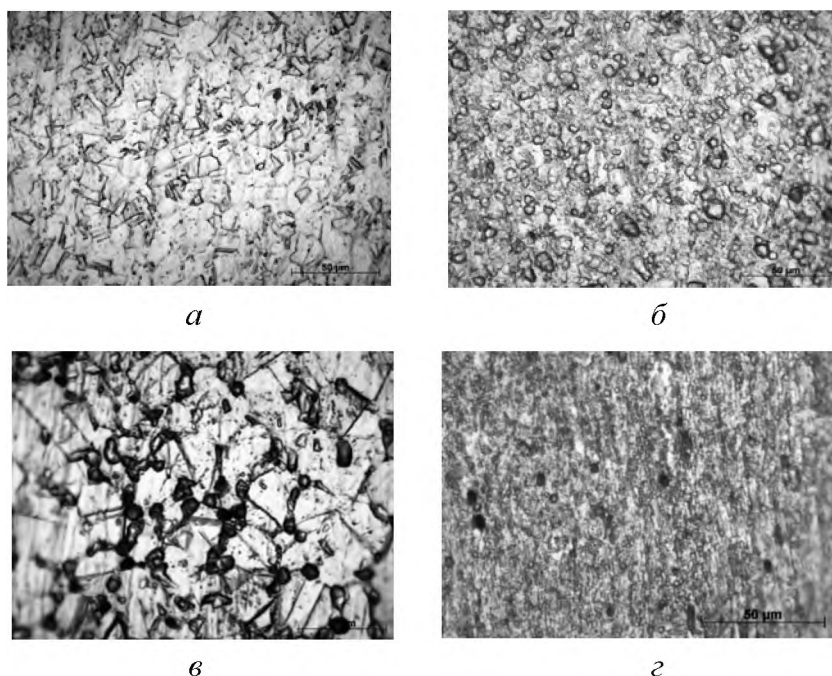
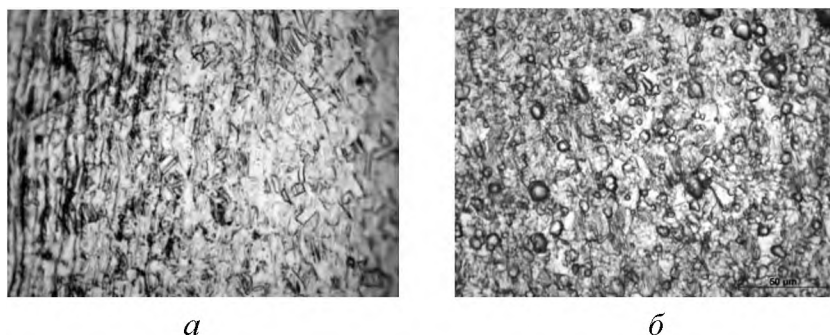


Рисунок 2 – Микроструктура сталей после облучения по режиму 1:
 а – сталь № 2; б – сталь № 5; в – сталь № 6; г – сталь № 15



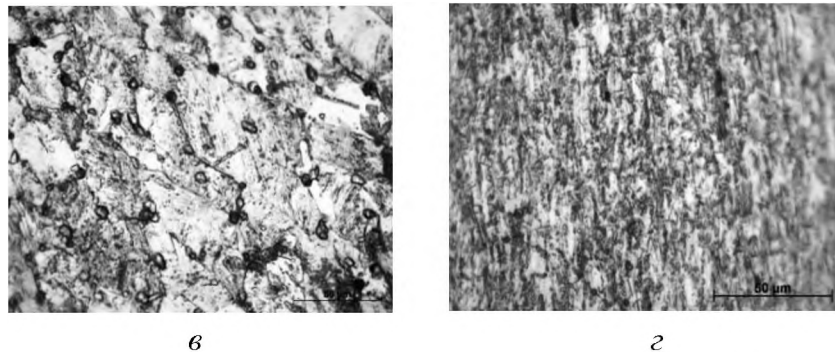


Рисунок 3 – Микроструктура сталей после облучения по режиму 2:

а – сталь № 2; *б* – сталь № 5; *в* – сталь № 6; *г* – сталь № 15

Во всех образцах после облучения наблюдалось увеличение прочности без существенного изменения пластичности, а также твердости, что связано с увеличением плотности дефектов и появлением мартенсита деформации (рис. 4).

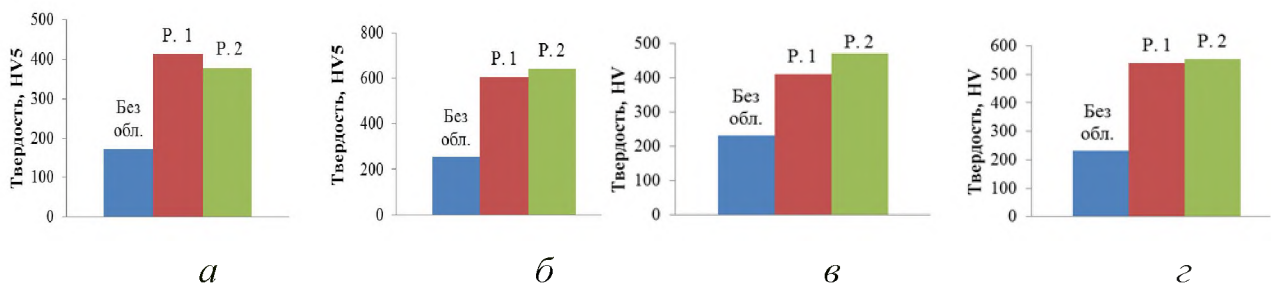


Рисунок 4 – Твердость сталей до и после облучения:

а – сталь № 2; *б* – сталь № 5; *в* – сталь № 6; *г* – сталь № 15

ВЫВОДЫ

1. В исследованных сталях после ионной имплантации наблюдается повышение твердости и прочности: HV в среднем в 1,5–2 раза, σ_B – на 50–60 %. Повышение HV и σ_B происходит за счет повышения концентрации дефектов кристаллического строения.

2. Предел текучести $\sigma_{0,2}$ исследованных сталей при имплантации ионов N^+ повышается в среднем на 10–20 %. Его повышение зависит от режима имплантации и степени деформационного старения сталей, в частности, в результате выделения меди, как в образцах 5 и 15.

Список литературы

1. Калинин, Б. А. Радиационно-пучковые технологии обработки конструкционных материалов [Текст] / Б. А. Калинин // Физика и химия обработки материалов. 2001, №4. С. 5 – 16.
2. Гончаров В. В. Микротвердость поверхности нержавеющей стали, модифицированной ионной имплантацией // Проблемы машиностроения, 2013, Т. 16, № 6. С. 47–51.
3. Будзински П., Полянски К., Кобзев А.П. Изменение свойств поверхности нержавеющей стали марки AISI316L, имплантированной азотом // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2008, № 8. С. 80–85.