

**ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ, ПОДВЕРГНУТОЙ ИОННОМУ АЗОТИРОВАНИЮ**

В.А. Москвина^{1,2}, Г.Г. Майер², Е.В. Мельников²

Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. Е.Г. Астафурова²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

E-mail: valya_moskvina@mail.ru

**PHASE COMPOSITION AND FRACTURE CHARACTERISTICS OF A SURFACE LAYER IN
AUSTENITIC STAINLESS STEEL SUBJECTED TO ION NITRIDING**

V.A. Moskvina^{1,2}, G.G. Maier², E.V. Melnikov²

Scientific Supervisor: assistant professor, doctor of sciences (Phys & Math) E.G. Astafurova²

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

²Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia, Tomsk, Akademichesky pr. 2/4, 634055

E-mail: valya_moskvina@mail.ru

Abstract. Phase composition and fracture characteristics of the surface layer of ion-nitrided austenitic stainless steel were studied. Ion nitriding of steel samples promotes to a surface hardening and changes phase composition of the surface layers of specimens. Nitrided specimens have inhomogeneous surface layers 17–22 μm in thickness, which are composed with nitrogen-doped austenite, α -phase, ϵ -martensite and nitrides of various composition.

Введение. Низкотемпературное ионное азотирование представляет собой процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя металлов азотом в плазме тлеющего разряда [1]. Благодаря такой технологии поверхностного упрочнения возможно получать твердые и износостойкие поверхностные слои на аустенитных нержавеющей сталях. Азотирование в диапазоне низких температур (350–570°C) предотвращает образование нежелательной фазы CrN, однако глубина проникновения азота в поверхностный слой будет значительно меньше из-за пониженной скорости диффузии азота в материалах с ГЦК-решеткой. Авторами многих российских и зарубежных работ показано, что формирование зеренно-субзеренных, ультрамелкозернистых (УМЗ) и нанокристаллических (НК) структур с высокой концентрацией деформационных дефектов (границ зерен, дислокаций и двойников) в поверхностном слое металлов способствует более интенсивной диффузии азота в ГЦК и ОЦК решетку [2]. Наиболее эффективными методами предварительной пластической деформации перед процессом азотирования являются: дробеструйная обработка [3], кручение под высоким давлением [4], холодная прокатка [5] и др. Предварительное формирование высокодефектных состояний в сталях способствует образованию более толстых нитридных слоев при ионном азотировании. Тем не менее, морфология и фазовый состав, особенности деформации азотированных слоев в зеренно-субзеренных, УМЗ И НК материалах остаются малоизученными. Данная работа направлена на исследование изменения фазового

состава и морфологии поверхностного слоя аустенитной стали 01X17H13M3 после предварительной холодной прокатки и последующего низкотемпературного ионного азотирования.

Материалы и методы исследования. Закаленные заготовки стабильной аустенитной стали 01X17H13M3 (химический состав приведен в таблице 1) подвергали плоской прокатке при 300 К до степени осадки 80%.

Таблица 1

Химический состав стали 01X17H13M3 (мас.%)

Сталь	Состав						
	Cr	Ni	Mn	Mo	Si	C	Fe
01X17H13M3	16.84	13.29	1.72	2.72	0.59	0.01	Бал.

Ионное азотирование стальных образцов осуществляли при температуре 813 К в течение 12 часов при давлении рабочего газа $P = 300$ Па.

Результаты и обсуждение. Прокаткой в стали была сформирована неравновесная разориентированная зеренно-субзеренная структура с высокой плотностью деформационных дефектов. Средний размер элементов структуры составил $D=220\pm 50$ нм, в них наблюдалась высокая плотность дислокаций $\rho = 5 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$. На рисунке 1 представлены рентгенограммы для стали 01X17H13M3 в состоянии после прокатки и ионного азотирования. Анализ рентгенограммы после прокатки свидетельствовал о наличии пиков только от аустенитной фазы с параметром кристаллической решетки $a=0.3600\pm 0.0002$ нм (рис. 1). После прокатки на рентгенограмме наблюдали уширенные линии аустенита

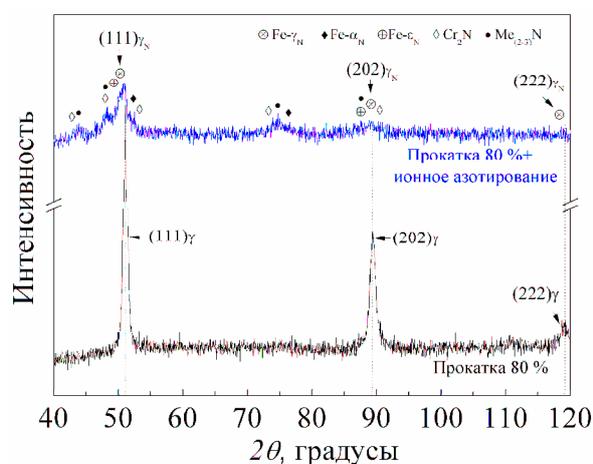


Рис.1. Рентгенограммы для стали 01X17H13M3

наблюдало снижение интенсивности, уширение и смещение пиков легированного азотом аустенита $(111)\gamma_N$, $(202)\gamma_N$, $(222)\gamma_N$ относительно положения пиков $(111)\gamma$, $(202)\gamma$ и $(222)\gamma$ на рентгенограммах для прокатанных образцов. Параметр решетки азотистого аустенита γ_N после азотирования находится в интервале $a=0.3643-0.3688$ нм. Это свидетельствует о твердорастворном упрочнении стали азотом и формировании неоднородной концентрации азота в аустените по толщине азотированного слоя.

На рисунке 2 представлены СЭМ изображения поперечных изломов в разрушенных при растяжении образцах сталей до (а) и после ионного азотирования (б, в). Анализ изображений для прокатанных образцов свидетельствует о вязком (ямочном) характере разрушения (рис. 2, а).

$(111)\gamma$, $(202)\gamma$ и $(222)\gamma$, что свидетельствует о формировании высокодефектной неравновесной структуры: области когерентного рассеяния составляли $D_{hkl}=100$ нм, а микродеформация кристаллической решетки $\Delta d/d=4 \cdot 10^{-3}$.

Рентгенограмма для образцов, подвергнутых ионному азотированию свидетельствует о наличии пиков от легированного азотом аустенита, небольшой доли азотистого феррита, ϵ -фазы, а также нитридов различного состава Cr_2N , $\text{Me}_{(2,3)}\text{N}$, Fe_4N (рис. 1). На рентгенограммах, полученных с использованием азотированных образцов,

В азотированных образцах, разрушение азотированного слоя происходит хрупко по механизму квазискола (рис. 2, б, в). Толщина поверхностного азотированного слоя неоднородна и составляет 17–22 мкм. Между азотированным слоем и вязкой матрицей наблюдали зону внутреннего азотирования шириной ≈ 40 мкм, для которой характерно твердорастворное упрочнение аустенитной матрицы без образования большого количества мартенсита и нитридов. Поэтому характер разрушения в ней отличен от вязкого разрушения в центральной части образцов и хрупкого скола на поверхности (рис. 2, б).

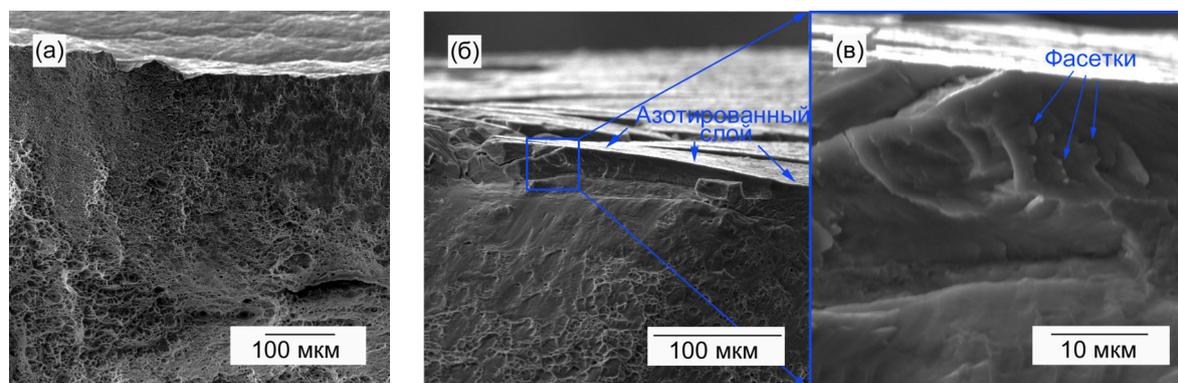


Рис.2. СЭМ-изображения поверхностей излома образцов аустенитной стали после прокатки (а) и после ионного азотирования (б, в)

Заключение. Ионное азотирование аустенитной стали с неравновесной зеренно-субзеренной структурой, сформированной холодной прокаткой, способствует формированию широкого (до 22 мкм) азотированного слоя на поверхности образцов. Фазовый состав азотированного слоя представлен легированным азотом аустенитом, азотистым ферритом, ϵ -мартенситом и дисперсными нитридами различного состава (Cr_2N , $\text{Me}_{(2,3)}\text{N}$, Fe_4N). Поверхностный азотированный слой разрушается хрупко – по механизму квазискола. Зона диффузионного влияния азота (зона внутреннего азотирования) характеризуется смешанным характером разрушения и содержит следы пластической деформации, а внутренняя часть образцов разрушается вязко с образованием ямочного излома по аналогии с образцами, не подвергнутыми ионному азотированию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sun Y., Bell. T. Sliding wear characteristics of low temperature plasma nitrided 316 austenitic stainless steel // *Wear*. – 1998. – № 218. – P. 34–42.
2. Tong W.P. Nitriding iron at lower temperatures // *Science*. – 2003. – № 299. – P. 686–688.
3. Tong W.P., Han Z., Wang L.M. Low-temperature nitriding of 38CrMoAl steel with a nanostructured surface layer induced by surface mechanical attrition treatment alloy // *Surface & Coatings Technology*. – 2008. – № 202. – P. 4957–4963.
4. Ferkel H., Glatzer M., Estrin Y., Valiev R.Z., Blawert C., Mordike B.L., RF plasma nitriding of severely deformed iron-based alloys // *Mater. Sci. Eng. A*. – 2003. – № 348. – P. 100–110.
5. Nishimoto A., Akamatsu K., Effect of pre-deforming on low temperature plasma nitriding of austenitic stainless steel // *Plasma Process. Polym.* – 2009. – № 6. – P. 306–309.