

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИОННО-АЗОТИРОВАННОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

В.А. МОСКВИНА¹, Е.Г. АСТАФУРОВА^{1,2}, К.Н. РАМАЗАНОВ³, В.В. БУДИЛОВ³

¹ Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, пр.

Академический, 2/4, 634055

³ Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, ул. Карла

Маркса, 12, 450077

E-mail: valya_moskvina@mail.ru

Ионное азотирование (ИА) – метод поверхностной обработки деталей для получения твердых и износостойких поверхностных слоев на нержавеющей сталях [1,2]. Субмикрокристаллическая (СМК) структура с высокой концентрацией деформационных дефектов способствует более интенсивной диффузии азота и позволяет дополнительно повысить функциональные свойства аустенитных сталей при ИА [3–5]. Данная работа направлена на исследование структуры и фазового состава поверхностных слоев аустенитной стали 01X17H13M3 с СМК структурой, подвергнутой низкотемпературному ИА.

Образцы стабильной аустенитной стали Fe-17Cr-13Ni-1.7Mn-2.7Mo-0.5Si-0.01C (мас.%) (01X17H13M3) после плоской прокатки при 300 К до степени осадки 80% обладали разориентированной зеренно-субзеренной структурой со средним размером элементов 220 ± 50 нм и высокой плотностью дислокаций $5 \times 10^{14} \text{ м}^{-2}$ (рис. 1). После прокатки сталь имела аустенитную структуру с параметром решетки, $a = 3.6 \text{ \AA}$, размеры областей когерентного рассеяния составили > 100 нм, микродеформация кристаллической решетки $\Delta d/d = 4.3 \times 10^{-3}$. Аустенитную сталь после прокатки подвергали низкотемпературному ИА в течение 12 ч, при температуре 540°C и давлении рабочего газа $P = 300$ Па.

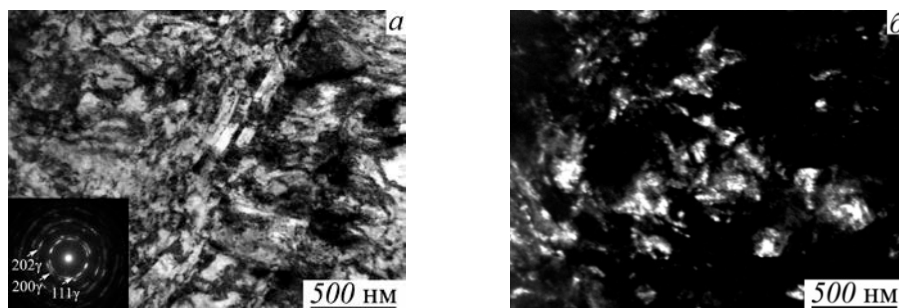


Рисунок 1 – Электронно-микроскопические светлопольное (а) и темнопольное (б) изображения СМК структуры в аустенитной стали. Темнопольное изображение к (а) получено в рефлексе (111) γ -Fe

Анализ изображений поверхностей излома, полученных методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), позволяет говорить о том, что в исходном состоянии сталь разрушается вязко (рис. 2 а), а после ионного азотирования на поверхности стали с СМК структурой формируется азотированный поверхностный слой толщиной 22 – 27 мкм, который разрушается хрупко по механизму скола (рис.2 б). Азотированный слой представляет собой хрупкую «корочку» (рис. 2 б, в) с неоднородной структурой – в верхней части слоя хрупкие фасетки и квазисколы, в нижней части слоя – столбчатая структура. Между азотированным слоем и вязкой матрицей наблюдали формирование диффузионной зоны шириной ≈ 40 мкм, для которой характерно твердорастворное упрочнение аустенита азотом. Она также разрушается хрупко, но на поверхностях излома вблизи азотированного слоя можно наблюдать следы деформации (рис. 2 в).

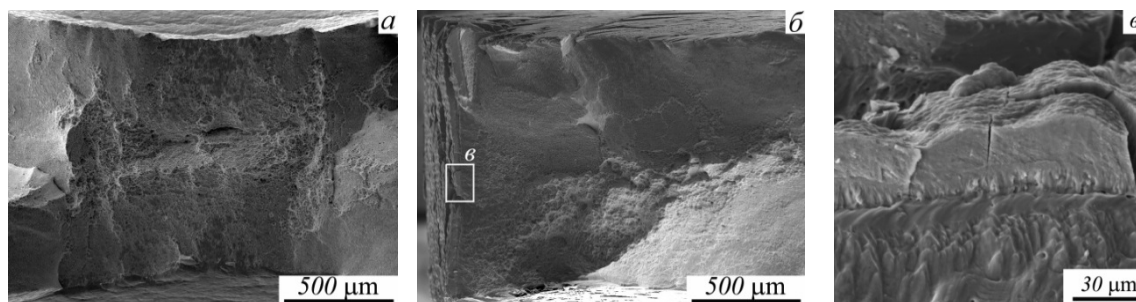


Рисунок 2 – СЭМ-изображения поверхностей излома образцов аустенитной стали в исходном состоянии (а) и после ИА (б, в)

Рентгеноструктурный анализ и анализ микродифракционных картин, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), позволяет говорить о том, что фазовый состав поверхностных слоев образцов после азотирования представлен аустенитом (матрица), легированным азотом аустенитом $\gamma\text{-Fe}_N$ ($a=3.61\text{--}3.67\text{ \AA}$), нитридами CrN , Cr_2N , FeN , $\text{Fe}_{(2,3)}\text{N}$ и небольшой долей легированного азотом феррита $\alpha\text{-Fe}_N$ ($a=2.86\text{--}2.89\text{ \AA}$).

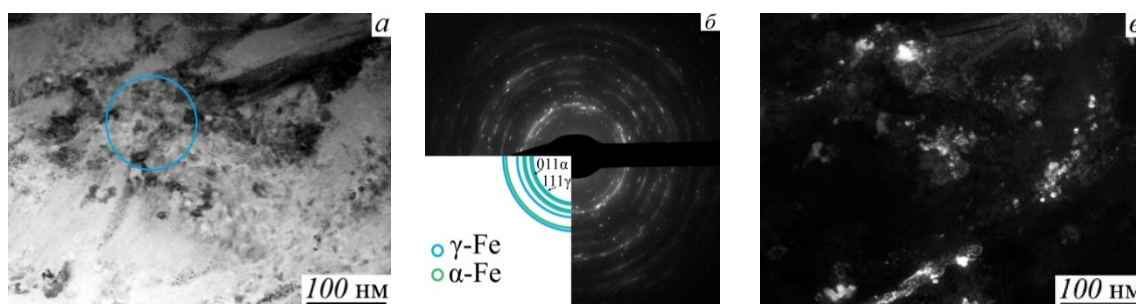


Рисунок 3 – Микроструктура азотированного слоя стали: а – светлопольное электронно-микроскопическое изображение; б – микродифракция с выделенной области на (а); в – темнопольное изображение к (а), полученное в совмещенном рефлексе нитридов и аустенита

Согласно анализу ПЭМ-изображений, полученных на разном расстоянии от поверхности образцов, азотированный слой имеет сложную структуру: на поверхности формируется тонкая пленка, состоящая из оксикарбонитридов (20 нм); ниже наблюдали подслои, толщиной $\approx 20\text{--}25\text{ мкм}$, состоящий из дисперсных нитридов размером 20 – 30 нм, азотированного феррита и аустенита (рис. 3). При переходе к диффузионной зоне, с увеличением расстояния от поверхности образцов, доля нитридов постепенно уменьшается, а основной фазой является легированный азотом аустенит, который содержит высокую плотность деформационных двойников. Наличие высокой плотности дефектов и границ зерен в исходной СМК структуре стали способствовали частичной ее релаксации при азотировании (540°C) с образованием двойников деформации. Микроструктура матрицы под композиционным азотированным слоем имеет морфологию, близкую к исходной зеренно-субзеренной структуре субмикронного масштаба, полученной при прокатке.

Список литературы

3. Sun Y., Bell T., Wear 218 (1998) 34–42.
4. Menthe E., Bulak A., Olfe J., et al., Surf. Coat. Technol. 133–134 (2000) 259–263.
5. Li Y., Wang L., Xu J., Zhang D., Surf. Coat. Technol. 206 (2012) P. 2430–2437.
6. Tong W.P., Science 299 (2003) 686–688.
7. Tong W.P., Han Z., Wang L.M., Surf. Coat. Technol. 202 (2008) 4957–4963.