

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩАЮЩЕГО ГАЗА ПРИ ИОННОМ АЗОТИРОВАНИИ НА ДЕФОРМАЦИЮ И ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 01X17H13M3 С РАЗНЫМ РАЗМЕРОМ ЗЕРНА

В.А. Москвина¹, К.Н. Рамазанов²

Научный руководитель: доцент, д. ф.-м. н. Е.Г. Астафурова³

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Уфимский государственный авиационный технический университет

³Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: valya_moskvina@mail.ru

Одним из эффективных способов улучшения свойств поверхности и приповерхностных слоев материалов является низкотемпературное ионное азотирование [1, 2]. На сегодняшний день ионное азотирование нержавеющей стали является перспективным способом улучшения аустенитных нержавеющей сталей в связи с универсальностью их физико-механических свойств: коррозионной стойкостью, пластичностью, ударной вязкостью. Нержавеющая сталь широко используется в медицине и практически во всех отраслях современной промышленности, а также для изготовления конструкционных деталей, работающих в агрессивных средах [3].

Целью данной работы является установление влияния давления насыщающего газа при низкотемпературном ионном азотировании на деформацию и характер разрушения аустенитной нержавеющей стали 01X17H13M3 с разной структурой.

Объектом исследования в работе была выбрана аустенитная сталь Fe-17Cr-13Ni-1.7Mn-2.7Mo-0.5Si-0.01C мас. % (01X17H13M3). Сталь термомеханически обрабатывали по следующим режимам: режим 1 – прокатка до 80% и отжиг при 900 °С (2 мин.), режим 2 – прокатка до 80% и отжиг при 1000 °С (7 мин.) и режим 3 – прокатка до 40% и отжиг при 1050 °С (5 ч.). После термической обработки образцы закаливали в воду. Таким образом, обработка по данным режимам позволила получить в стальных образцах равновесную зеренную структуру с разным размером зерна: 3 мкм (режим 1), 7 мкм (режим 2) и 70 мкм (режим 3) соответственно (рис. 1, а-в). Согласно анализу рентгеноструктурных данных, независимо от режима обработки сталь имела структуру аустенита с параметром решетки 0,36 нм. Методом рентгеноструктурного анализа также установлено, что размеры областей когерентного рассеяния у образцов, после термомеханических обработок составили более 200 нм, а микродеформация кристаллической решетки $\sim 10^{-4}$.

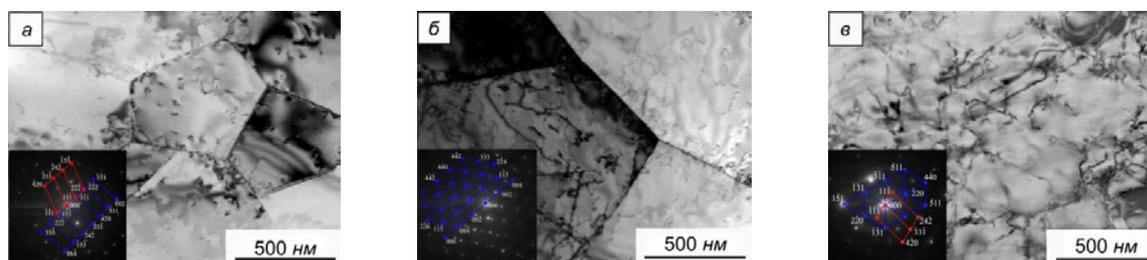


Рис. 1. Электронно-микроскопические светлопольные изображения и микродифракционные картины (вклейки) структуры стали 01X17H13M3 после термомеханических обработок: а – по режиму 1; б – по режиму 2; в – по режиму 3

Ионное азотирование проводили по 2 режимам при температуре 540 °С (12 ч): при давлении рабочего газа $P = 300$ Па – традиционное ионное азотирование (ТИА) и при пониженном давлении $P = 60$ Па – ионное азотирование с эффектом полого катода (ЭПК) [4]. После азотирования образцы растягивали при комнатной температуре с относительной скоростью деформации $4.6 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$.

Термомеханические обработки и ионное азотирование методами ТИА и ЭПК в мелкокристаллических и крупнокристаллических образцах (режимы 1–3) не приводят к увеличению величины предела текучести – в некоторых случаях наблюдается даже разупрочнение и величина $\Delta\sigma_{0,2} = (\sigma_{0,2(N)} - \sigma_{0,2}) / \sigma_{0,2}$ принимает отрицательные значения (для режима 1 $\Delta\sigma_{0,2} = -0,005$ и $\Delta\sigma_{0,2} = -0,003$ после ТИА и ЭПК соответственно, для режима 2 $\Delta\sigma_{0,2} = -0,04$ после ТИА, для режима 3 $\Delta\sigma_{0,2} = -0,05$ после азотирования с ЭПК). Независимо от размера зерна образцов азотирование по обоим выбранным режимам приводит к уменьшению предела прочности и удлинения. Понижение давления насыщающего газа при ионном азотировании (ЭПК) слабее влияет на механические и пластические характеристики образцов по сравнению с ТИА и вызывает меньшие эффекты охрупчивания.

Деформация образцов с мелкокристаллической и крупнокристаллической структурой происходит однородно по всей рабочей части образцов, и при одноосном статическом растяжении наблюдали интенсивное растрескивание и выкрашивание азотированного слоя. Поверхностный слой растрескивается с самого начала деформации растяжением. В образцах, обработанных по режимам 1–3, процесс растрескивания и фрагментации поверхности образцов сопровождает весь процесс пластического течения. Образцы, термомеханически

обработанные по режимам 1–3 и азотированные по ТИА, характеризуются более интенсивным и грубым растрескиванием, это связано с толщиной азотированного слоя, она больше, чем для образцов, азотированных при более низком давлении (ЭПК). Присутствие азотированного слоя способствует разрушению поверхности образцов хрупко – сколом, а центральная часть разрушается вязко с формированием ямочного излома. Толщина азотированного слоя различна для образцов с разным размером зерна и составляет 18, 15, 13 мкм для режимов 1–3 соответственно. Между хрупким азотированным слоем и вязкой матрицей наблюдали формирование переходной зоны (зона с твердорастворным упрочнением аустенита азотом). Разрушение в этой зоне происходит хрупко, но характер излома заметно отличается от разрушения в азотированном слое. Для образцов с мелкокристаллической и крупнокристаллической структурой толщина переходной зоны также различна, она составляет 90–150 мкм и повышается с увеличением размера зерна. Для образцов, азотированных при более низком давлении насыщающего газа (ЭПК), отмечали формирование более обширной переходной зоны с твердорастворным упрочнением для всех структурных состояний по сравнению с ТИА, для которого характерно формирование более толстого поверхностного азотированного слоя. Рентгеноструктурный анализ позволяет говорить о том, что параметр решетки в слое с твердорастворным упрочнением превышает значение для матрицы (0,361–0,364 и 0,36 нм соответственно), что свидетельствует о высокой концентрации азота в твердом растворе в переходной зоне.

Таким образом, ионное азотирование по всем выбранным режимам способствует поверхностному упрочнению аустенитной стали с разным размером зерна, формированию прочного азотированного слоя. Образцы с разной структурой, азотированные с эффектом полого катода, характеризуются образованием меньшего по толщине азотированного слоя для всех структурных состояний, но отличаются образованием обширной переходной зоны с твердорастворным упрочнением аустенита азотом. Понижение давления насыщающего газа при ионном азотировании (ЭПК) слабее влияет на механические и пластические характеристики образцов по сравнению с ТИА в случае мелкокристаллического состояния, но вызывает меньшие эффекты охрупчивания.

Список литературы

1. Теория и технология азотирования / под ред. Ю.М. Лахтина. – М. : Metallurgia, 1991. – 320 с.
2. Лахтин Ю.М. Современное состояние процесса азотирования // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 1993. – № 7. – С. 17–21.
3. Кушнер В.С., Верещака А.С., Схиртладзе А.Г. и др. *Материаловедение : учебник для вузов*. – Омск : ОмГТУ, 2008. – 224 с.
4. Budilov V., Agzamov R., Ramazanov K. // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2007. – Vol. 49, Issue 7-8. – P. 358–361.