

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ВОДОРОДОМ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЯХ 08X17N14M2 И 08X18N10T ПРИ ПРОКАТКЕ

Мельников Е.В.¹, Козлова Т.А.²

Научный руководитель: Астафурова Е.Г.¹ с.н.с. ИФПМ СО РАН, д.ф.-м.н., доцент

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634021, Россия, Томск, пр. Академический, 2/4

²Томский политехнический университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: melnickow-jenya@yandex.ru

Введение. В связи с развитием исследований, направленных на практическое освоение преимуществ замены традиционных видов энергетики на водородную, оборудование для которой предполагает широкое использование аустенитных хромоникелевых сталей, в последние годы возрос интерес к особенностям их взаимодействия с водородом. Присутствие водорода в аустенитных нержавеющих сталях может привести к охрупчиванию или, наоборот, пластификации материала, способствовать наведенным деформацией мартенситным превращениям. В данной работе ставили задачу исследовать влияние прокатки на плоских валках, комбинированной с обратимым легированием водородом, на структурно-фазовые превращения в промышленно используемых аустенитных сталях 08X17N14M2 и 08X18N10T.

Материалы и методы исследования. В качестве объектов исследования были выбраны аустенитные стали марок 08X17N14M2 и 08X18N10T. Образцы для испытаний вырезали в форме прямоугольных пластин с размерами $15 \times 11 \times 1,5$ мм³, затем подвергали химическому травлению, механической шлифовке и электролитической полировке.

Насыщение образцов водородом осуществляли в 1М растворе серной кислоты H₂SO₄ с добавлением тиомочевины CH₄N₂S при 300 К и плотностях тока 10, 100, 200 мА/см². Продолжительность наводороживания – 5 часов. Пластическую деформацию проводили непосредственно после наводороживания методом плоской прокатки с обжатием на 25, 50, 75 и 90%.

Микротвердость измеряли с использованием микротвердомеров Duramin 5 и ПМТ-3 с нагрузкой P=200 г.

Особенности зеренной структуры изучали методом анализа картин дифракции обратно рассеянных электронов (ДОЭ) с использованием сканирующих электронных микроскопов Quanta 200 3D и Quanta 600 FEG при ускоряющем напряжении 30 кВ с гексагональной постановкой точек и шагом 0,05-0,15 мкм. Просвечивающую электронную микроскопию (ПЭМ) проводили на электронном микроскопе JEM-2100 при ускоряющем напряжении 200 кВ. Образцы для электронно-микроскопических исследований готовили стандартными методами.

Исследования фазового состава и структурных параметров стали проводили на дифрактометрах Shimadzu XRD-6000 и Rigaku Ultima IV.

Результаты исследования. Сталь 08X17N14M2 в исходном состоянии после закалки имела структуру аустенита с параметром решетки $a=3,5983$ Å и средним размером зерна 15 мкм. Сталь 08X18N10T помимо аустенита ($a=3,5999$ Å) со средним размером зерна 11 мкм содержала феррит (менее 5%, $a=2,8808$ Å).

При прокатке исследуемых сталей зерно измельчается по сравнению с исходным состоянием. На картах, полученных методом ДОЭ, видна ориентированная структура, сформированная при прокатке (рис. 1 а, б). Полосовые структуры, наблюдаемые в зернах аустенита методом ДОЭ, косвенно подтверждают развитие механического двойникования, которое наблюдается методом ПЭМ. Деформация стали 08X18N10T приводит не только к фрагментации зерен аустенита, но и к протеканию фазового γ - α' превращения с образованием в структуре мартенсита деформации [1]. Объемная доля α' -фазы возрастает с увеличением степени обжатия. Средний размер (суб)зерен, определенный методом ПЭМ в стали 08X18N10T после прокатки на 50%, составляет 120 нм для аустенита и 160 нм для феррита. Средний размер (суб)зерен в стали 08X17N14M2, измеренный по темнопольным ПЭМ-изображениям, после прокатки на 50% составляет 230 нм. То есть, прокатка приводит к формированию ультрамелкозернистой структуры в исследуемых сталях.

Микротвердость сталей 08X17N14M2 и 08X18N10T в исходном состоянии составляла 2,2 и 1,8 ГПа соответственно. После прокатки стали 08X17N14M2 она увеличилась до 3,4 ГПа (25%), 3,5 ГПа (50%), 3,7 ГПа (75%), 3,9 ГПа (90%). Микротвердость стали 08X18N10T, прокатанной до тех же степеней деформации, выше: 3,5 ГПа (25%), 4,0 ГПа (50%), 4,3 ГПа (75%) и 4,8 ГПа (90%), что наряду с измельчением аустенита связано с формированием ультрамелкозернистой мартенситной фазы.

Для стали 08X18N10T, подвергнутой прокатке после электролитического наводороживания установлено, что с увеличением плотности тока объем α' -фазы увеличивается: максимальная доля α' -фазы наблюдается после насыщения водородом при плотности тока 200 мА/см² и прокатки [1].

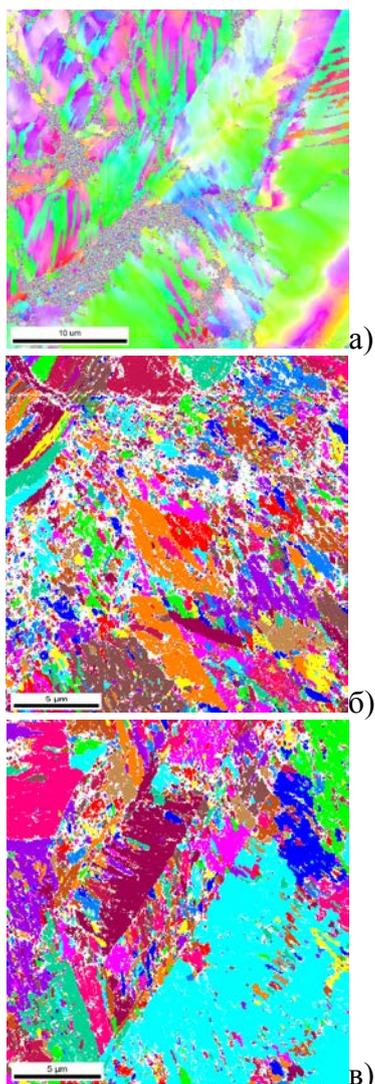


Рис. 1. ДОЭ-карты зеренной структуры сталей 08X17N14M2 (а) и 08X18N10Т (б, в): а, б – после прокатки ($\epsilon=50\%$); в – после наводороживания ($j=100 \text{ mA/cm}^2$) и прокатки ($\epsilon=50\%$)

Происходит измельчение исходных аустенитных зерен за счет накопления деформационных дефектов и наведенных деформацией $\gamma\text{-}\alpha'$ и $\gamma\text{-}\epsilon$ мартенситных превращений, двойникования. При увеличении плотности тока до $j=100\text{-}200 \text{ mA/cm}^2$ при наводороживании на ДОЭ-картах зеренной структуры просматриваются исходные крупные зерна аустенита, и структура приобретает полосовой (локализованный) характер (рис. 1 в). Следует отметить, что после прокатки с наводороживанием в структуре стали 08X18N10Т появляется ϵ -мартенсит, которого не было в исходном состоянии и в образцах, которые подвергали деформации без наводороживания. По данным ПЭМ средний размер элементов структуры прокатанных (50%) после наводороживания образцов зависит от плотности тока и составляет: при $j=10 \text{ mA/cm}^2$ – 210 нм для феррита, 140 нм для аустенита, при $j=100 \text{ mA/cm}^2$ – 230 нм для феррита и 210 нм для аустенита.

Насыщение образцов водородом перед деформацией приводит к небольшому росту микротвердости в стали 08X18N10Т и не зависит от режима наводороживания: 3,8 ГПа (25%), 4,1 ГПа (50%), 4,4 ГПа (75%), 4,8 ГПа (90%).

Пластическая деформация стали 08X17N14M2 как с водородом, так и без него не приводит к развитию фазового превращения: на рентгенограммах наблюдаются рефлексы только от аустенита. По данным ПЭМ в структуре обнаружены двойники деформации и ϵ -мартенсит, средний размер зерен аустенита для наводороженных и прокатанных ($\epsilon=50\%$) образцов составляет: при плотности тока $j=10 \text{ mA/cm}^2$ – 185 нм; при $j=100 \text{ mA/cm}^2$ – 160 нм; при $j=200 \text{ mA/cm}^2$ – 310 нм. Микротвердость при степени обжатия 25% уменьшается в образцах, подвергнутых наводороживанию, на 0,1-0,6 ГПа, а при 50-90%, напротив, возрастает на 0,2-0,6 ГПа.

Выводы. Проведенные исследования по влиянию наводороживания на структурно-фазовые превращения и микротвердость сталей 08X17N14M2 и 08X18N10Т показали, что:

1. Прокатка с предварительным введением водорода и без него приводит к измельчению структуры до ультрамелкозернистого состояния.

2. Микротвердость при прокатке увеличивается по сравнению с исходными образцами. Предварительное легирование водородом не оказывает существенного влияния на величину микротвердости в случае прокатки стали 08X18N10Т. При этом наводороживание стали 08X17N14M2 вызывает уменьшение микротвердости на 0,1-0,6 ГПа при степени обжатия $\epsilon=25\%$, а при $\epsilon=50\text{-}90\%$, напротив, приводит к ее росту на 0,2-0,6 ГПа.

3. В стали 08X18N10Т при деформации протекают фазовые $\gamma\text{-}\alpha'$ и $\gamma\text{-}\epsilon$ превращения. Введение водорода перед прокаткой способствует увеличению α' -фазы по сравнению с состоянием после прокатки без наводороживания. Сталь 08X17N14M2 как с водородом, так и без него остается устойчивой к фазовым превращениям при прокатке.

Литература

1. Е.В. Мельников, Ю.Л. Кретов, М.С. Тукуева, и др. Влияние легирования водородом на особенности фазовых превращений при прокатке метастабильной аустенитной стали X18N10Т // Вестник Тамбовского Университета. – 2013. – Т.18. – Вып.4. – с. 1613-1614.

Авторы работы выражают благодарность к.ф.-м.н. Майер Г.Г. и к.ф.-м.н. Тукуевой М.С. за помощь в проведении исследований. Работа выполнена с использованием оборудования Томского материаловедческого центра коллективного пользования и Белгородского государственного университета. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-08-90709-мол_рф_нр).