

**ВЛИЯНИЯ НАВОДОРОЖИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И
МИКРОТВЕРДОСТЬ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ 08X17N14M2 ПРИ ПРОКАТКЕ**Т.А. Козлова, Е.В. Мельников

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634021

E-mail: Tati21@inbox.ru

**THE INFLUENCE OF HYDROGENATION ON STRUCTURE, PHASE COMPOSITION AND
MICROHARDNESS OF Fe-17Cr-14Ni-2Mo-0.08C AUSTENITIC STEEL UNDER ROLLING**

T.A. Kozlova, E.V. Melnikov

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

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

Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia,

Tomsk, Akademichesky pr. 2/4, 634021

E-mail: Tati21@inbox.ru

The influence of a combination of rolling and reversible hydrogenation on the structural and phase transformations in Fe-17Cr-14Ni-2Mo-0.08C (in wt. %) austenitic stainless steel was studied. Plastic deformation as with hydrogen, and without it does not lead to a phase γ - α' transformation in steel. Microhardness increases slightly with increasing hydrogenation time and current density.

Введение. В настоящее время быстрыми темпами идет развитие техники и технологий, промышленность ежедневно требует разработки новых долговечных и экономичных материалов, а так же улучшения уже существующих и широко используемых. Возрастают требования к качеству и свойствам материалов. Все это повлекло за собой создание нового поколения специальных сталей. Стали используются во всех сферах человеческой деятельности: строительстве, газовой и нефтяной промышленности, судостроении, энергетике, авиакосмической технике, железнодорожном транспорте.

Проблема водорода в металлах и сплавах постоянно находится в центре внимания широкого круга исследователей – физиков, химиков, металлургов и др. Интерес к этой проблеме из года в год растет. Исключить проникновение водорода в материалы не удастся из-за большого содержания водорода в атмосфере и водной среде, а также по техническим условиям эксплуатации. Водород, растворяясь в металлах в ходе плавки, разливки, при электрохимических, ядерных и иных процессах, является одной из причин появления дефектов, трещин, ухудшения пластических свойств, приводящих к разрушению изделий.

Работа посвящена изучению структуры, фазового состава и микротвердости коррозионностойкой аустенитной стали 08X17N14M2, подвергнутой химико-деформационной обработке – многоходовой плоской прокатке с обратимым легированием водородом.

Материалы и методы исследования. В качестве материала для исследования была выбрана сталь аустенитного класса 08X17H14M2. Образцы для испытаний вырезали на электроискровом станке в форме прямоугольных пластин с размерами $15 \times 10 \times 1,5$ мм³ из стали промышленной выплавки (закалка от 1100°C). Поврежденный при резке поверхностный слой на образцах удаляли химическим травлением в растворе: 2 части HNO₃ + 3 части HCl. Затем образцы подвергали механической шлифовке и электролитической полировке в растворе 25 гр CrO₃ + 210 мл H₃PO₄.

Насыщение образцов водородом осуществляли в электролитической ячейке в 1М растворе серной кислоты (H₂SO₄) с добавлением тиомочевины (CH₄N₂S). Электролитическое насыщение образцов водородом проводили при плотностях тока 10, 100, 200 мА/см² и продолжительности 5 часов, температура – комнатная.

Образцы прокатывали непосредственно после наводороживания до различных степеней обжатия (ϵ) 25, 50, 75 и 90% с использованием вальцов настольных электромеханических В-51. Механические свойства (микротвердость) образцов изучали с помощью микротвердомера ПМТ-3 с механической нагрузкой $P=200$ г. Рентгеновские исследования выполнены на дифрактометре Rigaku Ultima IV с использованием Cu K α -излучения. Зеренную структуру 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. Просвечивающую электронную микроскопию (ПЭМ) проводили на электронном микроскопе JEM-2100 при ускоряющем напряжении 200 кВ. Образцы для электронно-микроскопических исследований готовили стандартными методами.

Результаты исследования. Анализ рентгенограммы показал, что исходная структура исследуемой стали 08X17H14M2 – аустенит с параметром решетки $a=3.59834 \text{ \AA}$, размер областей когерентного рассеяния составляет >200 нм, микродеформация кристаллической решетки – 7×10^{-4} . ДОЭ-анализ зеренной структуры показал, что средний размер зерна аустенита составляет 15 мкм; границы зерен в основном большеугловые (разориентация более 15°). Микротвердость в исходном состоянии составляла 2,2 ГПа.

Прокатка стали 08X17H14M2 приводит к измельчению зерна аустенита. Средний размер элементов зеренно-субзеренной структуры, измеренный по темнопольным ПЭМ изображениям, после прокатки на 50% составляет 230 нм. Анализ зёренной структуры с использованием метода ДОЭ показал, что структура аустенита имеет ориентированный характер, сформированный при прокатке. Микротвердость стали после деформации увеличилась (табл. 1).

Таблица 1. Микротвердость образцов стали 08X17H14M2 после различных режимов обработки

$\epsilon, \%$	$H_{ц}, \text{ ГПа}$			
	Без наводоро-живания	$j=10 \text{ мА/см}^2$	$j=100 \text{ мА/см}^2$	$j=200 \text{ мА/см}^2$
25	3,4	3,0	3,3	2,8
50	3,5	3,7	3,9	3,7
75	3,7	4,2	4,2	4,2
90	3,9	4,4	4,4	4,5

Анализ ДОЭ-карт для образцов исследуемой стали после различных режимов электролитического насыщения водородом и прокатки показал, что зеренная структура в них также измельчается до субмикронного масштаба и носит ориентированный характер (вдоль направления прокатки). После прокатки образцов, наводороженных при плотности тока 100 мА/см² наблюдается максимальное измельчение (фрагментация) структуры. При плотности тока 10 и 200 мА/см² также происходит

измельчение исходных аустенитных зерен за счет накопления деформационных дефектов и внутренних напряжений в результате прокатки. По данным ПЭМ, средний размер элементов зеренно-субзеренной структуры для наводороженных и прокатанных ($\epsilon=50\%$) образцов составляет: при плотности тока 10 мА/см^2 – 185 нм; 100 мА/см^2 – 160 нм; 200 мА/см^2 – 310 нм. Параметры структуры стали 08X17H14M2 (размеры областей когерентного рассеяния – ОКР, микродеформация кристаллической решетки – $\Delta d/d$ и параметр решетки – a) при заданной продолжительности наводороживания (t), переменных плотности тока (j) и степени деформации (ϵ) при прокатке свидетельствуют об измельчении структуры и росте внутренних напряжений.

Рентгенофазовый анализ образцов показал, что пластической деформации как с водородом, так и без него не приводит к фазовому γ - α' превращению, на рентгенограммах наблюдаются рефлексы только от γ -фазы. ДРОЭ-анализ фазового состава образцов после наводороживания и прокатки показал, что в ее структуре есть небольшая доля феррита. Больше всего феррита наблюдается в образце, наводороженном при плотности тока 10 мА/см^2 . Но так как метод ДРОЭ является локальным по сравнению с рентгенофазовым анализом, можно судить о том, что его объемная доля составляет менее 3%. То есть пластическая деформация как исходных, так и предварительно наводороженных образцов стали 08X17H14M2 не приводит к появлению заметного количества α' -мартенсита.

Микротвердость предварительно наводороженных по различным режимам образцов стали 08X17H14M2 возрастает с увеличением степени деформации при прокатке (табл. 1). Дополнительное легирование образцов водородом перед прокаткой приводит к уменьшению микротвердости при степени обжатия 25% и росту микротвердости на 0,2-0,6 ГПа при степенях обжатия 50-90% и слабо зависит от плотности тока при наводороживании (табл. 1). Для объяснения такого поведения прочностных свойств исследуемой стали при наводороживании необходимы дополнительные исследования механизмов деформации и характера формируемой зеренно-субзеренной структуры.

Заключение. В исходном состоянии образцы стали 08X17H14M2 имели аустенитную структуру с размером зерна 15 мкм и микротвердостью 2,2 ГПа. Микротвердость образцов стали 08X17H14M2 возрастает при прокатке до 3,9 ГПа (осадка 90%), а структура измельчается до субмикронного размера. Введение водорода перед прокаткой (со степенями осадки более 25%) приводит к дополнительному увеличению микротвердости по сравнению с прокаткой исходных (без наводороживания) образцов и слабо зависит от режима наводороживания. После пластической деформации как с водородом, так и без него на рентгенограммах наблюдаются рефлексы только от γ -фазы, то есть предварительное легирование водородом не приводит к появлению заметного количества α' -мартенсита при прокатке.

Авторы работы выражают благодарность к.ф.-м.н. Майер Г.Г. и к.ф.-м.н. Тукаевой М.С. за помощь в проведении исследований. Работа выполнена с использованием оборудования Томского материаловедческого центра коллективного пользования и Белгородского государственного университета.