

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАВОДОРОЖИВАНИЯ И ПРОКАТКИ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ 08X17H14M2

Козлова Т.А.<sup>1</sup>, Мельников Е.В.<sup>2</sup>

Научный руководитель: Астафурова Е.Г.<sup>2</sup> с.н.с. ИФПМ СО РАН, д.ф.-м.н., доцент

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук,  
634021, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4

E-mail: Tati21@inbox.ru

### Введение

Растворенный в металлах водород приводит к существенному изменению механических и физико-химических свойств конструкционных материалов. Вопросу влияния водорода на свойства сталей в последнее десятилетие посвящено большое количество исследований, причем большинство из них направлено на изучение прочности, пластичности, пористости и специфических дефектов структуры, связанных с присутствием водорода.

Данная работа посвящена изучению структуры, фазового состава и прочностных свойств (микротвердости) коррозионностойкой аустенитной стали 08X17H14M2, 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  $15 \times 10 \times 1,5$  мм<sup>3</sup> из стали промышленной выплавки. Поврежденный при резке поверхностный слой на образцах удаляли химическим травлением в растворе: 2 части HNO<sub>3</sub> + 3 части HCl. Затем образцы подвергали механической шлифовке и электролитической полировке в растворе 25 гр CrO<sub>3</sub> + 210 мл H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

Насыщение образцов водородом осуществляли в электролитической ячейке в 1М растворе серной кислоты (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) с добавлением тиомочевины (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>S). Электролитическое насыщение образцов водородом проводили при плотностях тока 10, 100, 200 мА/см<sup>2</sup> и продолжительности 5 часов, температура – комнатная.

Пластическую деформацию проводили непосредственно после наводороживания с использованием вальцов настольных электромеханических В-51 до степеней обжатия 25, 50, 75 и 90%.

Прочностные свойства (микротвердость) обработанных по разным режимам образцов изучали с помощью микротвердомера ПМТ-3 с механической нагрузкой на индентор Р=200г.

Рентгеновские исследования выполнены на дифрактометре Rigaku Ultima IV с использованием Cu K<sub>α</sub>-излучения.

Зеренную структуру изучали методом анализа картин дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD-анализ, ДОО) 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

По результатам рентгеноструктурного анализа в исходном состоянии после закалки структура стали аустенитная с параметром решетки  $a=3.59834$  Å, размер областей когерентного рассеяния составляет  $>200$  нм, микродеформация кристаллической решетки –  $7 \cdot 10^{-4}$  (рис. 1 крив. 1).

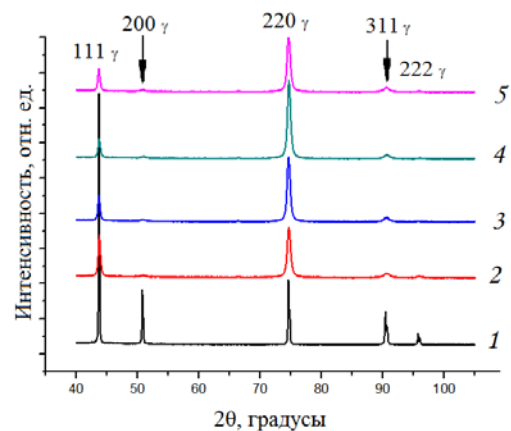


Рис. 1. Рентгенограммы для образцов стали 08X17H14M2 после различных режимов обработки: 1) исходный; 2) прокатка; 3) наводороживание ( $j=10$  мА/см<sup>2</sup>) и прокатка; 4) наводороживание ( $j=100$  мА/см<sup>2</sup>) и прокатка; 5) наводороживание ( $j=200$  мА/см<sup>2</sup>) и прокатка. Степень обжатия  $\epsilon=50$  %

С помощью метода ДОО была изучена зеренная структура стали 08X17H14M2 и построена карта границ зерен для исходного состояния. Структура крупнозернистая, средний размер зерна аустенита составляет 15 мкм (рис. 2 а); границы зерен в основном большеугловые (разориентация более 15°). Микротвердость стали в исходном состоянии составляла 2,2 ГПа.

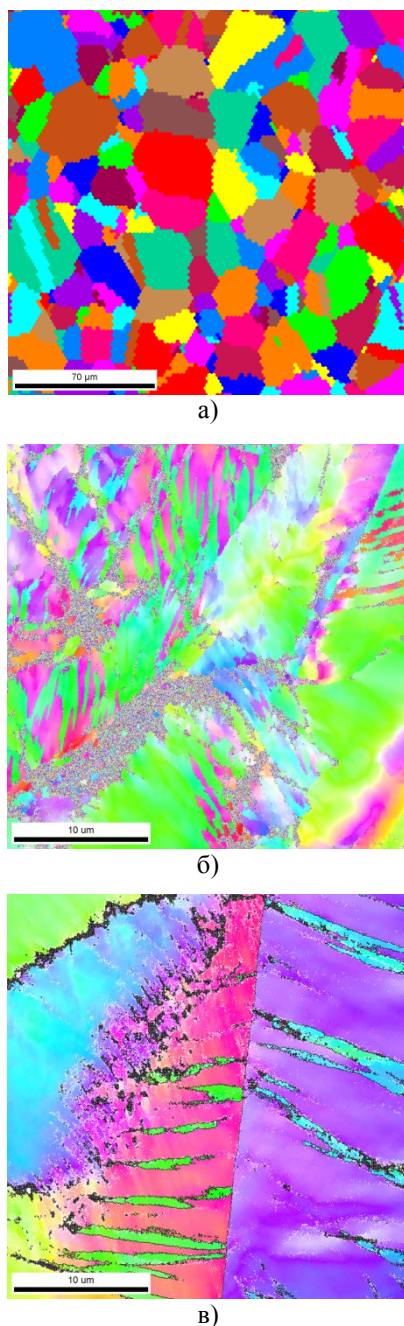


Рис. 2. EBSD-карты зеренной структуры стали 08X17N14M2: а) в исходном состоянии; б) после прокатки ( $\epsilon=50\%$ ); в) после наводороживания при  $j = 100 \text{ мА/см}^2$  и прокатки ( $\epsilon=50\%$ )

В ходе деформации зерно измельчается по сравнению с исходным состоянием, на карте зеренной структуры видна ориентированная структура аустенита, сформированная при прокатке (рис. 2 б). Средний размер зерен аустенита, измеренный по ПЭМ темнопольным изображениям, после прокатки на 50% составляет 230 нм. Микротвердость стали после деформации увеличилась до 3,4 ГПа (25%), 3,5 ГПа (50%), 3,7 ГПа (75%), 3,9 ГПа (90%).

Анализ зеренной структуры после прокатки наводороженных образцов стали 08X17N14M2

показал, что после электролитического насыщения водородом также наблюдается измельчение (фрагментация) структуры (рис. 2 в). Структура аустенита имеет ориентированный характер, сформированный при прокатке. При этом доля специальных границ (двойниковых) в структуре увеличивается при введении в структуру стали водорода перед прокаткой. По данным ПЭМ, средний размер зерен аустенита для наводороженных и прокатанных ( $\epsilon=50\%$ ) образцов составляет: после прокатки наводороженных при плотности тока  $10 \text{ мА/см}^2$  – 185 нм;  $100 \text{ мА/см}^2$  – 160 нм;  $200 \text{ мА/см}^2$  – 310 нм.

На рентгенограммах (рис.1, крив. 2–5) после пластической деформации как с водородом, так и без него наблюдаются рефлексы только от  $\gamma$ -фазы, т.е наводороживание и пластическая деформация не приводит к фазовому  $\gamma$ - $\alpha'$  превращению. Параметры структуры стали 08X17N14M2 (размеры областей когерентного рассеяния, микродеформация кристаллической решетки  $\Delta d/d$ ) при заданной продолжительности наводороживания ( $t=5\text{ч}$ ), переменных плотности тока ( $j$ ) и степени деформации ( $\epsilon$ ) при прокатке свидетельствуют об измельчении структуры и росте внутренних напряжений.

Дополнительное легирование образцов водородом перед прокаткой приводит к уменьшению микротвердости на 0,1-0,6 ГПа при степени обжата 25% и росту микротвердости на 0,2-0,6 ГПа при степенях обжата 50-90% что согласно данным электронно-микроскопических исследований вызвано усилением вклада от механического двойникового при наводороживании.

#### Выводы

Пластическая деформация стали 08X17N14M2 методом плоской прокатки как с предварительным введением водорода, так и без него приводит к существенному измельчению структуры и формированию ультрамелкозернистого состояния со средним размером зерна менее 310 нм. Введение водорода перед прокаткой (со степенями осадки более 25%) приводит к дополнительному увеличению микротвердости до 0,6 ГПа, что вызвано усилением вклада от механического двойникового при наводороживании. Предварительное легирование водородом не приводит к появлению заметного количества  $\alpha'$ -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. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-08-90709-мол\_рф\_нр).*