

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/90

**ВЛИЯНИЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ
01X17H13M3**

¹Москвина В.А., ¹Астафурова Е.Г., ²Рамазанов К.Н. ¹Майер Г.Г.,

¹Астафуров С.В., ¹Мельников Е.В., ³Загибалова Е.А.

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия*

²*Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия*

³*НИ Томский политехнический университет, Томск, Россия*

В работе представлены результаты исследований элементного и фазового состава, микроструктуры и нанотвердости поверхностных слоев, сформированных в результате ионно-плазменной поверхностной обработки образцов аустенитной нержавеющей стали Fe-17Cr-13Ni-1.7Mn-2.7Mo-0.5Si-0.01C (мас. %) (01X17H13M3) с зеренно-субзеренной структурой субмикронного масштаба. Образцы аустенитной стали были прокатаны при комнатной температуре до степени осадки $\varepsilon = 80\%$. Часть образцов осталась в состоянии после прокатки (режим 1), остальная часть была подвержена отжигу при температуре 600°C в течение 2 часов с охлаждением в воду (режим 2). После термомеханических обработок были вырезаны пропорциональные образцы для одноосного растяжения с размерами рабочей части 18×2.7×1.7 мм³ (толщина). Образцы механически шлифовали и электролитически полировали до получения зеркальной поверхности. Ионно-плазменную обработку проводили на модернизированной установке ЭЛУ-5 в смеси газов аргона (Ar 70%), азота (N₂ 25%) и ацетилена (C₂H₂ 5%), давлении 300 Па, температуре насыщения 540°C в течение 12 часов.

Прокатка (режим 1) способствует формированию высокодефектной разориентированной зеренно-субзеренной структуры с высокой плотностью дефектов кристаллического строения. Анализ микродифракционных картин свидетельствует о сильном размытии аустенитных рефлексов в азимутальном и радиальном направлениях, что позволяет говорить о наличии высоких напряжений и малоугловых разориентациях в структуре после прокатки. Средний размер элементов, определённый по темнопольным ПЭМ изображениям, составил $D = 330 \pm 190$ нм. Плотность дислокаций, оцененная по уширению рентгеновских линий, имела значение $\rho = 9 \times 10^{14} \text{ м}^{-2}$, микродеформация кристаллической решетки $\Delta d/d = 2 \times 10^{-3}$.

Прокатка и отжиг (режим 2) стальных образцов приводят к частичной релаксации напряжений, перераспределению дислокаций, небольшому увеличению среднего размера элементов структуры ($D = 390 \pm 260$ нм) по сравнению с образцами после прокатки (режим 1). Также структура, сформированная по режиму 2, содержит рекристаллизованные зерна, средний размер которых составляет 60±12 нм. Микродифракционные картины имеют квазикольцевой характер, распределение аустенитных рефлексов свидетельствует о наличии высоко- и малоугловых разориентаций в структуре. В результате отжига плотность дислокаций снижается по сравнению с образцами, обработанными по режиму 1, и составляет $\rho = 3 \times 10^{14} \text{ м}^{-2}$. Микродеформация кристаллической решетки также уменьшается вдвое до значения $\Delta d/d = 1 \times 10^{-3}$.

В результате ионно-плазменной обработки на боковых поверхностях образцов, термомеханически обработанных по режимам 1 и 2, был сформирован однородный композиционный слой толщиной ≈ 20 мкм. Анализ профилей распределения элементов по глубине, проведенный методом оже-спектроскопии, свидетельствует о различном распределении атомов внедрения, углерода, азота и кислорода, в поверхностных слоях образцов с высокодефектной (режим 1) и релаксированной (режим 2) зеренно-субзеренной структурой. Согласно данным оже-спектроскопии поверхностный слой толщиной до ≈ 5 мкм образца с высокодефектной зеренно-субзеренной структурой (режим 1) более интенсивно насыщен углеродом и азотом, по сравнению с релаксированной зеренно-субзеренной структурой (режим 2).

Секция 2. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

Поверхностные композиционные слои обладают высокими значениями нанотвердости. Профили распределения нанотвердости изменяются нелинейно вдоль поперечного сечения образцов от боковой поверхности к центру. Нанотвердость поверхности образцов с высокодефектной зеренно-субзеренной структурой (режим 1) составляет ≈ 24 ГПа, она выше значений, определенных для образцов, обработанных по режиму 2 (≈ 16 ГПа).

Поверхностные упрочненные слои толщиной до ≈ 20 мкм, обладающие высокими значениями нанотвердости, разрушаются хрупко при растяжении образцов, обработанных по режимам 1 и 2. Переходная зона между хрупкими упрочненными слоями и вязкой матрицей, наблюдаемая на поверхности изломов при анализе СЭМ-изображений образцов стали, имеет толщину до ≈ 100 мкм и характеризуется хрупким разрушением с многочисленными следами деформации на поверхностях излома. Согласно данным оже-спектроскопии, она содержит повышенную концентрацию атомов внедрения по сравнению с исходными образцами (до ионно-плазменной обработки). Значения нанотвердости в этой области не так велики, как в упрочненном слое, но значительно превышает значения в центральной части образцов. Повышение нанотвердости и хрупкое разрушение поверхностных слоев и переходной зоны может быть обусловлено несколькими факторами: 1 – дисперсионным твердением в поверхностном слое толщиной до ≈ 20 мкм (образование мелкодисперсных нитридов и карбонитридов Fe_4N , $\text{Fe}_4(\text{N,C})$ от $\text{Me}_{(2,3)}\text{N}$, $\text{Me}_{(2,3)}(\text{N,C})$); 2 - образованием пересыщенных азотом и углеродом твердых растворов на основе аустенита и феррита.

Таким образом, ионно-плазменная обработка аустенитной стали 01X17H13M3 в смеси газов аргона, азота и ацетилена способствует формированию упрочненного композиционного слоя толщиной до ≈ 20 мкм и переходной зоны с твердорастворным упрочнением толщиной до ≈ 100 мкм на поверхности образцов с зеренно-субзеренной структурой различной морфологии. Результаты оже-спектроскопии свидетельствуют о том, что элементы внедрения – азот, углерод и кислород по-разному распределены в поверхностных слоях образцов с разной дефектной субструктурой, это, в свою очередь, оказывает влияние на профили распределения нанотвердости в них.

Работа выполнена в рамках ПФНИ ГАН на 2013-2020 годы, направление Ш.23. Исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования «Нанотех» ИФПМ СО РАН.