

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-293

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОДОРОДНОГО ОХРУПЧИВАНИЯ
ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ
АЗОТОМ И УГЛЕРОДОМ**

¹Панченко М.Ю., ¹Астафурова Е.Г., ¹Реунова К.А., ¹Астафуров С.В., ¹Мельников Е.В.,
¹Москвина В.А., ^{1,2}Михно А.С.

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

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

В настоящей работе были изучены закономерности водородного охрупчивания высокоэнтропийных ГЦК сплавов, легированных атомами азота и углерода. Для исследования были выбраны сплавы следующих составов: 20Fe-20Cr-20Mn-20Ni-20Co (ВЭС), 20Fe-20Cr-20Mn-20Ni-19Co-1N, (1N-ВЭС) и 20Fe-20Cr-20Mn-20Ni-19Co-1C (ат. %) (1C-ВЭС). Для формирования однофазного твердого раствора в полученных сплавах они были подвергнуты термомеханическим обработкам (ТМО-1 и ТМО-2), которые включали отжиг при температуре 1200°C в течение 2 ч, холодную прокатку до 80 % и повторный отжиг при 1200°C в течение 2 ч для ВЭС и 1N-ВЭС; отжиг при температуре 1200°C в течение 12 ч, горячую ковку при 1230°C, отжиг при температуре 1200°C в течение 12 ч, холодную прокатку до 80 % и отжиг при 1200°C в течение 1 ч для 1C-ВЭС образцов. Электролитическое наводороживание проводилось в 3 % водном растворе NaCl с добавлением NH₄SCN в течение 50 ч, при плотности тока 10 мА/см².

Методами рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии было показано, что после ТМО ВЭС и 1N-ВЭС образцы обладали однофазной крупнокристаллической аустенитной структурой, размер зерен составлял 150-200 мкм. Образцы 1C-ВЭС, легированные углеродом, обладали меньшим размером зерна 50-80 мкм и содержали единичные нерастворенные карбиды. До насыщения водородом все образцы обладали значительным запасом пластичности: $\delta^{\text{ВЭС}} = 62 \%$, $\delta^{1\text{N}} = 70 \%$ и $\delta^{1\text{C}} = 45 \%$. Предел текучести образцов зависит от содержания атомов внедрения (азот/углерод): $\sigma_{0,2}^{\text{ВЭС}} = 180$ МПа, $\sigma_{0,2}^{1\text{N}} = 285$ МПа и $\sigma_{0,2}^{1\text{C}} = 350$ МПа. Насыщение водородом вызвало изменение механических свойств всех образцов. Повышение предела текучести $\sigma_{0,2}$, которое связано с твердорастворным упрочнением атомами водорода, наблюдалось во всех образцах, и оно наиболее выражено в сплавах, легированных атомами внедрения ($\Delta\sigma_{0,2}^{\text{ВЭС}} = 10$ МПа, $\Delta\sigma_{0,2}^{1\text{N}} = 25$ МПа и $\Delta\sigma_{0,2}^{1\text{C}} = 32$ МПа). Коэффициент водородного охрупчивания k_{H} , который описывает потерю пластичности, вызванную насыщением водородом, в ВЭС образцах составляет 25 %, а в легированных азотом и углеродом 1N- и 1C-ВЭС образцах k_{H} уменьшается до 10–15 %, что может быть обусловлено различной скоростью диффузии и распределением атомов водорода в материале как непосредственно при электролитическом насыщении образцов, так и в процессе последующего растяжения. С помощью сканирующей электронной микроскопии установлено, что после растяжения наводороженных образцов на поверхности разрушения наблюдается хрупкий поверхностный слой, индуцированный водородом. При этом центральная часть всех образцов разрушается вязко транскристаллитно с образованием большого количества ямок излома (подобно образцам до наводороживания). В ВЭС образцах наблюдается широкий индуцированный водородом хрупкий слой с большой неоднородностью по глубине и со средней толщиной $W_{\text{H}}^{\text{ВЭС}} = 95 \pm 40$ мкм, а на поверхности разрушения наблюдаются транскристаллитные и интеркристаллитные сколы. В образцах с атомами внедрения, 1N-ВЭС и 1C-ВЭС, толщина хрупкого наводороженного слоя уменьшается ($W_{\text{H}}^{1\text{N}} = 43 \pm 20$ мкм, $W_{\text{H}}^{1\text{C}} = 65 \pm 35$ мкм). При этом легирование азотом способствует усилению вклада от транскристаллитного излома, а легирование углеродом напротив приводит к увеличению вклада в интеркристаллитное разрушение.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 20-19-00261).