

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ СО РАН

ФИЗИЧЕСКАЯ МЕЗОМЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ.
ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ
СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЗМЫ НЕЛИНЕЙНОГО ПОВЕДЕНИЯ

Международная конференция

5–8 сентября 2022 г.

Томск, Россия

Тезисы докладов

Новосибирск
2022

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОДОРОДНОГО ОХРУПЧИВАНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ $\text{Fe}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{20}\text{Co}_{20-x}\text{N}_x$ ($x=0,8$ и $1,4$ ат. %)

¹Панченко М.Ю., ¹Астафурова Е.Г., ¹Реунова К.А., ¹Астафуров С.В., ¹Мельников Е.В.,
¹Нифонтов А.С., ²Гуртова Д.Ю.

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

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск*

В настоящей работе было исследовано влияние насыщения водородом на механические свойства, механизмы деформации и разрушения высокоэнтропийных ГЦК сплавов, легированных атомами азота. Для исследования были выбраны сплавы следующих составов: $\text{Fe}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{20}\text{Co}_{20}$ (0N-ВЭС), $\text{Fe}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{20}\text{Co}_{19,2}\text{N}_{0,8}$, (0,8N-ВЭС) и $\text{Fe}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{20}\text{Co}_{18,6}\text{N}_{1,4}$ (ат. %) (1,4N-ВЭС). Все сплавы были подвергнуты термомеханической обработке, которая включала отжиг при температуре 1200°C в течение 2 ч, холодную прокатку до 80 % и повторный отжиг при 1200°C в течение 2 ч. Электролитическое наводороживание проводилось в 3 % водном растворе NaCl с добавлением NH_4SCN , в течение 50 ч, при плотности тока 10 мА/см². Механические испытания образцов проводили при комнатной температуре методом одноосного растяжения до разрыва с начальной скоростью деформации 5×10^{-4} с⁻¹ с использованием испытательной машины LFM-125 (Walter + Bai AG).

С помощью методов рентгенофазового анализа и электронной микроскопии было показано, что после ТМО образцы всех сплавов обладали однофазной аустенитной структурой с размером зерен 150-200 мкм. Экспериментально установлено, что увеличение концентрации азота в сплаве приводит к повышению предела текучести ($\sigma_{0,2}^{0N} = 184$ МПа, $\sigma_{0,2}^{0,8N} = 255$ МПа и $\sigma_{0,2}^{1,4N} = 290$ МПа) и удлинения до разрушения ($\delta^{0N} = 63\%$, $\delta^{0,8N} = 66\%$, $\delta^{1,4N} = 71\%$.) при комнатной температуре.

Наводороживание способствует изменению механических свойств всех сплавов. Вызванное водородом повышение предела текучести $\Delta\sigma_{0,2}$ (твердорастворное упрочнение) возрастает при увеличении концентрации азота в материале: $\Delta\sigma_{0,2}^{0N} = 5$ МПа, $\Delta\sigma_{0,2}^{0,8N} = 7$ МПа и $\Delta\sigma_{0,2}^{1,4N} = 21$ МПа. Коэффициент водородного охрупчивания k_H , характеризующий уменьшение пластичности, вызванное насыщением водородом, в 0N-ВЭС образцах составляет 25 %, а в легированных азотом 0,8N-ВЭС и 1,4N-ВЭС образцах k_H оказывается одинаковым (14 %). Такое изменение механических свойств после наводороживания может быть обусловлено различной скоростью диффузии и распределением водорода в сплавах с разной концентрацией азота в твердом растворе.

Анализ электронно-микроскопических исследований деформированных образцов показал, что для всех исследуемых сплавов насыщение водородом приводит к усилению планарности скольжения, что может быть связано с уменьшением энергии дефекта упаковки при наводороживании и изменением упругого взаимодействия дислокационных ядер, насыщенных атомами водорода, с кристаллической решеткой при скольжении.

Методами сканирующей электронной микроскопии на поверхностях разрушения наводороженных образцов всех сплавов наблюдали хрупкий поверхностный слой, его ширина и микромеханизмы разрушения зависят от содержания азота в сплаве. Центральная часть всех образцов разрушается вязко транскристаллитно с формированием большого количества ямок излома, подобно образцам до насыщения водородом. В наводороженных образцах 0N-ВЭС образцах наблюдается широкий индуцированный водородом хрупкий слой со средней шириной $D_H^{0N} = 70 \pm 21$ мкм, разрушающийся преимущественно интеркристаллитно, но также присутствуют единичные транскристаллитные фасетки квазискола. В образцах, легированных азотом, 0,8N-ВЭС и 1,4N-ВЭС, ширина хрупкого наводороженного слоя уменьшается до $D_H^{0,8N} = 38 \pm 12$ мкм и $D_H^{1,4N} = 45 \pm 14$ мкм. При этом повышение концентрации азота способствует увеличению доли транскристаллитного разрушения в хрупком индуцированном водородом слое.

Таким образом, легирование азотом с концентрациями 0,8 ат. % и 1,4 ат. % способствует увеличению устойчивости сплава FeMnCrNiCo к водородному охрупчиванию. Сплавы с добавлением азота характеризуются меньшей толщиной хрупкого наводороженного слоя и коэффициентом водородного охрупчивания после испытаний на одноосное растяжение при комнатной температуре, по сравнению ВЭС без атомов внедрения.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 20-19-00261). Исследования проведены с использованием оборудования ЦКП «Нанотех» (ИФПМ СО РАН, Томск).