



Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уральский государственный горный университет»

**XX УРАЛЬСКАЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ДЕКАДА**

## **СБОРНИК ТЕЗИСОВ**

LXIV Международной конференции  
«Актуальные проблемы прочности»  
4 – 8 апреля, 2022 года  
Екатеринбург, Россия

Екатеринбург 2022

являются зернограничное скольжение и двойникование. Миграция двойниковых границ осуществляется по механизму обратимых ГПУ→ОЦК→ГПУ превращений. На стадии предразрушения в обработанном ультразвуком поверхностном слое развиваются некристаллографические полосы сдвига, зарождающиеся в нижележащих слоях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №21-19-00795).

## **ВЛИЯНИЕ АЗОТА НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОДОРОДНОГО ОХРУПЧИВАНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА FeMnCrNiCo(N)**

**М.Ю. Панченко<sup>1</sup>, Е.Г. Астафурова<sup>1</sup>, Е.В. Мельников<sup>1</sup>,  
К.А. Реунова<sup>1</sup>, С.В. Астафуров<sup>1</sup>, В.А. Москвина<sup>1</sup>, А.С. Нифонтов<sup>1,2</sup>, Д.Ю. Гуртова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

Email: [panchenko.marina4@gmail.com](mailto:panchenko.marina4@gmail.com)

В настоящей работе исследованы закономерности водородного охрупчивания высокоэнтропийных сплавов, легированных атомами азота. Для исследования были выбраны высокоэнтропийные сплавы с ГЦК решеткой и разной концентрацией азота: 20,0Fe-20,0Mn-20,0Cr-20,0Ni-20,0Co (ВЭС), 20,0Fe-20,0Mn-20,0Cr-20,0Ni-19,2Co-0,8N (ВЭС-0,8N) и 20,0Fe-20,0Mn-20,0Cr-20,0Ni-18,6Co-1,4N (ВЭС-1,4N) (ат.%). Для гомогенизации, измельчения зерна и формирования однофазного твердого раствора сплавы были подвергнуты термомеханической обработке. После обработки образцы ВЭС, ВЭС-0,8N и ВЭС-1,4N имели однофазную крупнокристаллическую аустенитную структуру со средним размером зерна около 200 мкм. Электролитическое насыщение образцов водородом проводилось в 3% водном растворе NaCl, содержащем 3 г/л NH<sub>4</sub>SCN, при плотности тока 10 мА/см<sup>2</sup> в течение 50 ч.

Анализ результатов испытаний на одноосное растяжение при комнатной температуре показывает, что предел текучести и пластичность сплава FeMnCrNiCo увеличиваются при легировании азотом:  $\sigma_{0,2}^{\text{ВЭС}} = 184$  МПа,  $\sigma_{0,2}^{0,8\text{N}} = 255$  МПа и  $\sigma_{0,2}^{1,4\text{N}} = 290$  МПа;  $\delta_{\text{ВЭС}} = 63\%$ ,  $\delta_{0,8\text{N}} = 66\%$ ,  $\delta_{1,4\text{N}} = 71\%$ . Наводороживание приводит к изменению механических свойств и механизмов разрушения всех сплавов. Наблюдается небольшое повышение предела текучести в наводороженных образцах, что обусловлено твердорастворным упрочнением атомами водорода. Коэффициент водородной хрупкости, характеризующий уменьшение удлинения до разрушения, вызванное водородом, составляет  $K_{\text{H}}=25\%$  в ВЭС образцах, а для образцов с азотом  $K_{\text{H}}=14\%$ . Электронно-микроскопические исследования деформированных образцов без водорода и насыщенных водородом показали, что наблюдаются единые закономерности влияния водорода на дислокационную структуру всех исследуемых сплавов – происходит усиление планарности скольжения, что может быть вызвано уменьшением энергии дефекта упаковки при наводороживании. Было установлено, что во всех исследуемых образцах после насыщения водородом формируется хрупкий поверхностный слой. Толщина такого слоя в ВЭС образцах намного шире  $W_{\text{H}}=70\pm 21$  мкм, чем в ВЭС-0,8N ( $W_{\text{H}}=38\pm 12$  мкм) и ВЭС-1,4N образцах ( $W_{\text{H}}=45\pm 14$  мкм). Хрупкий наводороженный слой

растрескивается преимущественно интеркристаллитно, но также наблюдаются и трещины по телу зерен. Причем с увеличением концентрации азота в сплаве увеличивается вклад от транскристаллитных трещин. Таким образом, легирование азотом при данных концентрациях (0,8 и 1,4 ат.%) способствует уменьшению толщины хрупкого наводороженного слоя и повышению устойчивости образцов высокоэнтропийных сплавов к водородному охрупчиванию.

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

## **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЗКОЛЕГИРОВАННОГО МЕДНОГО СПЛАВА ПОСЛЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

**А.Г. Пилипенко, М.С. Ткачев, А.И. Бодякова**

*ФГАОУ ВО НИУ «БелГУ», г. Белгород, Россия,*

E-mail: [bodyakova-ai@yandex.ru](mailto:bodyakova-ai@yandex.ru)

Развитие электротехнической промышленности предполагает переход к проводящим материалам нового поколения, сочетающим одновременно высокую прочность и электропроводность. Добиться комбинации этих свойств позволяют методы интенсивной пластической деформации (ИПД), которые обеспечивают формирование ультрамелкозернистой структуры в медных сплавах. Такая структура приводит к росту прочности без значительной потери электропроводности, в отличие от другого распространённого метода упрочнения – легирования. Поэтому воздействие ИПД на низколегированные медные сплавы является перспективным методом обработки металлов давлением. Равноканальное угловое прессование по схеме Конформ (РКУП-К), являющееся одним из методов ИПД, позволяет производить длинномерные заготовки в виде проволоки различного сечения, поэтому исследование влияния РКУП-К на физико-механические свойства низколегированных медных сплавов является актуальным научным направлением исследований.

В качестве материала исследования был выбран низколегированный медный сплав Cu-0,1%Cr-0,1%Zr. Сплав был обработан на получение пересыщенного твердого раствора при температуре 920 °С в течение 1 ч с охлаждением в воду. Далее сплав был подвергнут старению при температуре 500 °С 4 ч с охлаждением в воду. После термической обработки было проведено РКУП-К при комнатной температуре по маршруту В<sub>с</sub> в матрице с углом пересечения каналов 120°. Механические свойства были измерены после испытания на одноосное растяжение на машине Instron 5882 при комнатной температуре. Электрическая проводимость была измерена вихретоковым методом на установке Константа-К6 при комнатной температуре. Электрическая проводимость приводится в процентах от электрической проводимости отожженной чистой меди (58 МСм/м).

Изменение предела текучести, предела прочности, относительного удлинения и электрической проводимости низколегированного медного сплава после 1, 2, 4 и 8 проходов РКУП-К представлено в табл. 1.