

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ ЛИТЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ FeMnCrNiCo(N)<sup>\*</sup>

К.А. Реунова, С.В. Астафуров, Е.Г. Астафурова

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия*

Представлены результаты экспериментальных исследований температурной зависимости механических свойств и механизмов разрушения литых многокомпонентных сплавов (ат.%) 20.0Fe–20.0Mn–20.0Cr–20.0Ni–20.0Co (высокоэнтропийный сплав Кантора), 19.7Fe–20.0Mn–20.0Cr–19.9Ni–19.0Co–1.4N и 20.4Fe–20.4Mn–20.3Cr–20.3Ni–17.0Co–1.6N при одноосном статическом растяжении в температурном интервале от 77 до 473 К. Показано, что все исследуемые сплавы обладают аустенитной структурой с дендритными ликвациями, а легирование азотом сопровождается выделением зернограницной фазы (при концентрации 1.6 ат.%). Легирование азотом вызывает рост значений предела текучести и усиление температурной зависимости  $\sigma_{0.2}(T)$  в исследуемом интервале температур испытания. Для сплава Кантора, не содержащего атомов внедрения, понижение температуры испытания сопровождается одновременным увеличением прочности и пластичности. Для этого сплава характерен вязкий механизм разрушения во всем исследуемом интервале температур. Оба азотистых сплава имеют более высокие значения прочностных и пластических свойств, чем сплав Кантора. В температурном интервале от 183 до 473 К оба сплава разрушаются вязко транскристаллитно с формированием преимущественно ямочного излома на поверхностях разрушения. При этом в сплаве с 1.6 ат.% азота на поверхностях излома присутствуют вторичные интеркристаллитные трещины. При понижении температуры испытания до 77 К пластичность азотистых сплавов резко снижается, а на поверхностях разрушения наблюдаются многочисленные хрупкие интеркристаллитные трещины. В сплаве с 1.4 ат.% азота также присутствуют локальные области вязкого транскристаллитного излома, а в сплаве с 1.6 ат.% азота – транскристаллитные «сколы». То есть литые легированные азотом многокомпонентные сплавы демонстрируют переход «вязкость – хрупкость» в области пониженных температур деформации. Методом энергодисперсионного анализа было выявлено, что низкотемпературная хрупкость сплава с 1.4 ат.% азота обусловлена формированием зернограницных сегрегаций, способствующих интеркристаллитному разрушению образцов. В сплаве с 1.6 ат.% азота присутствие хрупких квазисколов внутри аустенитных зерен свидетельствует о развитии «вязко-хрупкого» перехода в аустенитной фазе, наряду с хрупким растрескиванием вдоль границ зерен из-за присутствия зернограницных нитридов.

**Ключевые слова:** высокоэнтропийные сплавы, многокомпонентные сплавы, азот, аустенит, температурная зависимость, механические свойства, разрушение.

### Введение

Многокомпонентные высокоэнтропийные сплавы (ВЭСы) в настоящее время являются предметом пристального внимания ученых всего мира. Концепция создания таких сплавов базируется на достижении максимального значения энтропии смешения при формировании эквиатомных или близких к эквиатомным композиций, состоящих из пяти и более элементов [1, 2]. В процессе смешения элементов в ВЭСах обычно формируются стабильные однофазные твердые растворы, имеющие ГЦК- и ОЦК-кристаллические решетки [3]. В работах, посвященных изучению ВЭСов, сообщалось об их привлекательных с точки зрения практического применения свойствах, таких как: высокая износостойкость, сильное деформационное упрочнение, фазовая стабильность, жаропрочность, высокая пластичность, вязкий характер разрушения вплоть до криогенных температур [4, 5].

Одним из наиболее изучаемых ВЭСов является сплав Кантора FeMnCrNiCo, обладающий привлекательными механическими характеристиками в области пониженных температур испытания. За счет высокого значения энтропии смешения уже в литом состоянии в данном сплаве происходит формирование однофазной ГЦК-структуры [1]. Основным механизмом деформации сплава Кантора является дислокационное скольжение, однако в области низких температур, помимо скольжения, происходит активация механического двойникования. В результате этого уменьшение длины свободного пробега дислокаций способствует росту прочностных характеристик, повышению деформационного упрочнения, подавлению процессов образования шейки и увеличению пластичности сплава [6–10]. К недостаткам сплава Кантора можно отнести относительно низкие прочностные характеристики в области высоких температур: значение предела текучести со-

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

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>