ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

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

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/283

**НЕОДНОРОДНОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА
Ti - 50,9 ат. % Ni ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ ЦИКЛИРОВАНИИ**

¹Полетика Т.М., ¹Гирсова С.Л., ¹Гирсова Н.В., ²Биттер С.М.

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

²*Томский государственный университет, Томск*

Основными требованиями к наноструктурным (НК) сплавам TiNi, используемым в медицине, являются стабильность механических свойств и долговечность при циклическом нагружении. Особый интерес вызывают структурно-неоднородные НК материалы, которые позволяют достичь сочетания циклической стабильности и высокого сопротивления усталости. К таким материалам можно отнести НК сплавы TiNi с неоднородной зеренно/субзеренной структурой, получаемой после деформации прокаткой и последеформационных отжигов. В работе представлены результаты исследования структуры и деформационного поведения НК сплава TiNi для изготовления тонкостенных трубок медицинского назначения.

Для исследований использовали образцы трубок из стареющего НК сплава Ti - 50,9 ат. % Ni с внешним диаметром 2.2 мм и толщиной стенок 0,3 мм. Выбран низкотемпературный отжиг при 300°C, 1 час, позволяющий избежать нежелательного роста зерен. После отжига критические температуры наблюдаемых мартенситных превращений (МП) $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$ составили: $T_R = 22^\circ\text{C}$, $M_S = -50^\circ\text{C}$, $M_F = -134^\circ\text{C}$, $A_S = -37^\circ\text{C}$, $A_F = -14^\circ\text{C}$. Структуру исследовали методом просвечивающей электронной микроскопии на микроскопе JEM 2100 (JEOL). Диаграммы нагружения-разгрузки при одноосном растяжении образцов трубок получали при комнатной температуре со скоростью $4 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ на испытательной машине LFM-125.

Показано, что после отжига при 300°C сплав имеет смешанную структуру, включающую бездислокационные нанозерна и области субмикронных и микронных размеров, состоящие из слабаразориентированных субзерен размерами 30-100 нм, занятых сетчатой дислокационной структурой. Средний размер зерен/субзерен составляет 80 нм. Установлено, что низкотемпературное старение развивается неоднородно по объему исследуемого материала. Так, в субзеренной структуре происходит образование высокодисперсных когерентных частиц Ti_3Ni_4 размером 3-5 нм. В нанозернах эффект старения не обнаружен. Частицы Ti_3Ni_4 расположены на дислокациях, способствуют их блокировке при деформации и эффективному упрочнению B2-аустенита. Сплав после отжига находится в B2+R фазах и демонстрирует сверхэластичное поведение, уровень критических напряжений составляет 380 МПа.

Различие структурно-фазового состояния элементов структуры (нанозерен и групп субзерен) и неоднородность их распределения обуславливают неодновременный характер активизации $B2 \leftrightarrow R$, $R \leftrightarrow B19'$, и $B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'$ МП в объеме при нагружении образцов. Выделены 2 основных фактора, контролирующие процессы МП в НК сплаве TiNi: (i) рост уровня критических напряжений МП с уменьшением размера зерен; (ii) наличие частиц Ti_3Ni_4 , обеспечивающих градиенты упругих напряжений и химического состава, что способствует развитию $B2 \leftrightarrow R$ превращения. Показано, что после 1 цикла нагружения-разгрузки R-фаза локализуется в отдельных субзернах и зернах субмикронного размера. После 5 циклов нанозерна вовлекаются в процесс МП $B2 \leftrightarrow B19'$ и $B2 \leftrightarrow R$, пластины R-мартенсита охватывают объем областей субзерен. После 10 циклов наблюдается преимущественно переориентация R-мартенсита. К концу 10 цикла происходит незначительное сужение циклической петли и формируется устойчивый механический гистерезис. Предполагается, что сочетание высокого предела дислокационной текучести в нанозернах и дисперсного упрочнения субзерен с низким напряжением начала МП в субзеренной структуре способствует одновременному вовлечению в деформацию нано- и микроструктурных уровней, что обеспечивает циклическую стабильность механических характеристик и высокое сопротивление усталости НК сплава Ti - 50,9 ат. % Ni.