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: 10.17223/9785946218412/288

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ МАРТЕНСИТНОГО СДВИГА И ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ В КРУПНОЗЕРНИСТЫХ ОБРАЗЦАХ СПЛАВА $\text{Ti}_{49.3}\text{Ni}_{50.7}$ (АТ.%)

¹Жапова Д.Ю., ¹Лотков А.И., ¹Гришков В.Н., ²Гусаренко А.А., ¹Тимкин В.Н.

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

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

В данной работе представлены результаты исследования закономерностей изменения предела текучести, напряжения мартенситного сдвига и максимального значения обратимой неупругой деформации в зависимости от температуры изотермических циклов «нагрузка-разгрузка». В работе были исследованы крупнозернистые образцы сплава $\text{Ti}_{49.3}\text{Ni}_{50.7}$ (ат.%). При охлаждении и нагреве образцы исследованных сплавов испытывали мартенситное превращение (МП) $\text{B2} \leftrightarrow \text{B19}'$ (где B2 – высокотемпературная фаза, а B19' – моноклинная мартенситная фаза). Температуры начала и конца МП в фазу B19' составляли $M_H=252\text{K}$ и $M_K=223\text{K}$, а температуры начала и конца обратного МП в B2 фазу – $A_H=258\text{K}$ и $A_K=273\text{K}$.

Исследования проводили при кручении образцов на установке типа обратного крутильного маятника. Заданная в процессе изотермического нагружения деформация (γ_t), включает неупругую ($\gamma_{\text{снд}}$) и пластическую ($\gamma_{\text{тр}}$) деформацию, развивающуюся по дислокационным механизмам. Неупругая деформация ($\gamma_{\text{снд}}$) является суммой величин эффектов сверхэластичности ($\gamma_{\text{св.}}$) и памяти формы ($\gamma_{\text{эф}}$): $\gamma_{\text{снд}} = \gamma_{\text{св.}} + \gamma_{\text{эф}}$. Величину сверхэластичности определяли как величину возврата неупругой деформации (в том числе малой деформации Гука) в изотермических циклах «нагрузка-разгрузка» при деформировании образцов кручением. Величина эффекта памяти формы равна возврату неупругой деформации при последующем нагреве разгруженных образцов до температуры 480K. Накопленная при данной γ_t пластическая деформация ($\gamma_{\text{тр}}$) соответствует остаточной деформации при 480K. В каждом последующем цикле γ_t увеличивалась (вплоть до разрушения образцов). Напряжение мартенситного сдвига (τ_m) определяли по зависимостям «напряжение-деформация». Предел текучести ($\tau_{0.3}$) определяли согласно [1]: в качестве этой величины брали напряжение, соответствующее накоплению пластической деформации 0.3%.

Видно, что значение предела текучести во всем исследованном диапазоне температур изменяется с минимумом, наблюдаемом вблизи $M_H=252\text{K}$, таблица 1. При этом наиболее высокие значения $\tau_{0.3}$ наблюдаются в мартенситном состоянии при $T_{\text{деф}}=164\text{K}$, что коррелирует с результатами [2]. Вблизи M_H происходит размягчение образцов, таблица 1. При повышении температуры образцы исследуемого сплава упрочняются. В свою очередь значение напряжения мартенситного сдвига (в мартенситном состоянии – напряжение, при котором наблюдается переориентация доменов мартенситной фазы B19') также имеет немонокотонную зависимость от температуры изотермических циклов «нагрузка-разгрузка», таблица 1. В мартенситном состоянии величина τ_m составляла 165-180 МПа, а вблизи M_H величина мартенситного сдвига уменьшается до 55-70 МПа. При температуре $T_{\text{деф}}=281\text{K}$, когда образцы находятся в предпереходном состоянии B2 фазы (на 29 градусов выше M_H и на 8 градусов выше A_K), напряжение мартенситного сдвига составляет 180 МПа. В состоянии B2-фазы при $T_{\text{деф}}=315\text{K}$ (на 42 градуса выше A_K) τ_m достигает 395 МПа, что приближается к величине $\tau_{0.3}=455\text{МПа}$ при этой температуре.

Отметим, что наиболее высокие значения суммарной обратимой деформации (сумма вкладов эффекта памяти формы и сверхэластичности) наблюдаются при температурах деформирования вблизи M_H и ниже, когда разница $|\tau_{0.3}-\tau_m|$ превышает 270 МПа. При $T_{\text{деф}}=281\text{K}$ внешние напряжения инициируют МП в B19'-фазу, и вследствие этого $\gamma_{\text{снд}}$ равна 17.9%. При $T_{\text{деф}}=315\text{K}$, когда разница $|\tau_{0.3}-\tau_m|$ минимальна и составляет 55 МПа, при кручении в образцах одновременно происходят пластическая деформация и развитие МП. Это приводит к снижению величины суммарной неупругой деформации до 15.9%.

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

Из таблицы 1 видно, что наиболее высокие значения обратимой неупругой деформации наблюдаются в наиболее упрочненных материалах, в которых предел текучести значительно бы превышал напряжение мартенситного сдвига τ_m . Эти результаты коррелируют с данными других авторов [3, 4]. В [3, 4] упрочненное состояние было обусловлено измельчением зёрно-субзёрненной структуры.

Таблица 1. Температуры деформирования, максимальные значения суммарной неупругой деформации, величины напряжения мартенситного сдвига и предел текучести.

Фазовый состав	$T_{\text{деф}}$, К	$\tau_{0.3}$, МПа	τ_m , МПа	$\gamma_{\text{снд}}(\text{max})$, %
B19'	164	490	180	18.4
	204	435	165	19.2
B2+ B19'	242	415	70	19.3
Предпереходное состояние B2	260	445	55	19.1
	281	455	160	17.9
B2	299	450	396	15.8
	315	450	370	15.9

Примечание: $T_{\text{деф}}$ – температура деформирования изотермических циклов «напряжение-разгрузка»; $\gamma_{\text{снд}}(\text{max})$ – максимальная величина суммарной неупругой деформации; τ_m – напряжение мартенситного сдвига; $\tau_{0.3}$ – предел текучести.

Работа поддержана Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, направление III.23.

1. Lotkov A., Grishkov V., Timkin V., Baturin A., Zhapova D. Yield stress in titanium nickelide-based alloys with thermoelastic martensitic transformations // Materials Science and Engineering A. 2019. V.744. P.74-78.
2. Пушин В.Г., Кондратьев В.В., Хачин В.Н. Предпереходные явления и мартенситные превращения. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 368 с.
3. Полякова К.А., Рыклина Е.П., Прокошкин С.Д., Дубинский С.М. Зависимость функциональных характеристик термомеханически обработанного никелида титана от размера структурных элементов аустенита // Физика металлов и металловедение. 2016. Т.117. С. 845–855.
4. Прокошкин С.Д., Браиловский В., Хмелевская И.Ю., Добаткин С.В., Инаекян К.Э., Демерс В., Бастарш Е., Татьянин Е.В. Формирование нанокристаллической структуры при интенсивной пластической деформации прокаткой и отжиге и повышение комплекса функциональных свойств сплавов Ti-Ni // Известия РАН. Серия физическая. – 2006. – Т.70. – №9. – С.1344-1348.