

# **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»**

Томск  
Издательский Дом ТГУ  
2019

DOI: 10.17223/9785946218412/101

**РАЗВИТИЕ ОБРАТИМОЙ НЕУПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ДВОЙНОМ СПЛАВЕ НА  
ОСНОВЕ TiNi ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ МЕХАНОЦИКЛИРОВАНИИ ИЗГИБОМ  
ОБРАЗЦОВ В B2 ФАЗЕ**

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

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

При эксплуатации изделий из сплавов на основе никелида титана в качестве датчиков или исполнительных устройств (актюаторов) они могут подвергаться циклическому нагреву и охлаждению под нагрузкой, либо в свободном состоянии, а также многократно подвергаться нагружению и разгрузке в изотермических условиях. При этом структурно-фазовое состояние сплава многократно изменяется в ходе этих циклов, что приводит к фазовому наклепу и изменению функциональных свойств сплава, таких как эффект памяти формы (ЭПФ) и сверхэластичность. Для стабильной работы изделий на основе TiNi необходимо, чтобы характеристики этих сплавов не изменялись в процессе эксплуатации.

Цель данной работы – исследовать закономерности накопления и возврата обратимой неупругой деформации в виде эффекта памяти формы и сверхэластичности в образцах двойного сплава Ti<sub>49,3</sub>Ni<sub>50,7</sub> (ат.%) в процессе их изотермического (295К) механоциклирования при деформировании образцов изгибом.

Образцы сплав Ti<sub>49,3</sub>Ni<sub>50,7</sub> (ат.%) в виде пластин (ширина 2 мм, толщина ~1 мм, длина 45 мм) испытывали изгибом в оснастке с V-образным каналом (угол между стенками канала 90°) при нагружении образцов цилиндрами заданного радиуса. Сплав имел крупнозернистую структуру (зёрна 20-30 мкм). Изотермические циклы «нагружение-разгрузка» проводили при температуре 295К.

Возврат деформации при разгрузке после нагружения до заданной деформации  $\epsilon_t$  принимали равным величине эффекта сверхэластичности. При последующем нагреве разгруженных образцов определяли возврат деформации, связанный с реализацией ЭПФ, обусловленного обратным превращением деформационного мартенсита B19' в B2 фазу. Остаточная деформация после завершения формовосстановления образца при нагреве до 493К соответствует пластической деформации, развивающейся в процессе нагружения образцов до  $\epsilon_t$ . Таким образом, в цикле «нагружение-разгрузка» с последующим нагревом разгруженных образцов выявляются все составляющие заданной при нагружении образцов деформации  $\epsilon_t$ . При каждом значении  $\epsilon_t$  (4.5% и 20.2%) проводили 11 механоциклов нагружения образцов изгибом и их разгрузки на отдельно взятых образцах. В сплаве при охлаждении и нагреве реализовывались мартенситные превращения (МП) B2 $\leftrightarrow$ B19' ( $M_s=252$ К,  $M_f=223$ К,  $A_s=258$ К,  $A_f=273$ К). Таким образом, температура, при которой проводили испытания образцов (295К), находится выше  $A_f$ , то есть образцы имели структуру B2 фазы.

При деформации образцов изгибом на 4.5% с увеличением числа циклов «нагружение-разгрузка-нагрев» наблюдается плавное уменьшение величины суммарной неупругой деформации и плавное увеличение пластической деформации. Однако, даже после одиннадцатого механоцикла величина пластической деформации не превышает 1%. При этом величина ЭПФ не превышает 0.2% и слабо зависит от количества механоциклов. Зависимость величины эффекта сверхэластичности, от числа механоциклов практически полностью повторяет по форме зависимость суммарной неупругой деформации. Это указывает на то, что при деформации изгибом на 4.5% практически вся неупругая деформация в интервале от 1 до 11 механоциклов возвращается в режиме проявления эффекта сверхэластичности.

При деформации изгибом на 20.2% уже после первого механоцикла величина ЭПФ достигает 4.8% и приближается по величине к эффекту сверхэластичности равному 6.2%. При этом суммарная обратимая неупругая деформация достигает 11% и соответствует максимально возможному кристаллографическому ресурсу мартенситной деформации в сплаве Ti<sub>49,3</sub>Ni<sub>50,7</sub> (ат.%), который определяется деформацией кристаллической решётки B2 фазы при МТ B2 $\rightarrow$ B19'. На втором цикле деформации происходит резкое уменьшение

## **Секция 2. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой**

---

величины ЭПФ. При этом величина эффекта сверхэластичности после второго механоцикла наоборот повышается. Однако дальнейшее увеличение количества механоциклов при  $\epsilon_t=20.2\%$  приводит к снижению величины эффекта сверхэластичности и её слабой зависимости от числа механоциклов.

Обсуждаются физические факторы, обуславливающие наблюдаемые различия влияния механоциклирования при малых и больших заданных деформациях на проявление эффектов сверхэластичности и памяти формы.

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