

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ НЕУПРУГОЙ И ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КРУЧЕНИИ ОБРАЗЦОВ ДВОЙНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА

А.А. ГУСАРЕНКО<sup>1</sup>, Д.Ю. ЖАПОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: [angel.ru09@mail.ru](mailto:angel.ru09@mail.ru)

Целью данной работы было исследование закономерностей влияния температуры изотермического нагружения на проявления неупругой мартенситной деформации и развитие пластической деформации в сплаве  $Ti_{49.3}Ni_{50.7}$  (ат.%). При охлаждении и нагреве образцов наблюдали только мартенситное превращение (МП)  $B2 \leftrightarrow B19'$ , где  $B2$  – высокотемпературная кубическая фаза, а  $B19'$  – моноклинная мартенситная фаза. Температуры начала и конца прямого и обратного МП составляют  $M_H=252K$  и  $M_K=223K$ ,  $A_H=258K$  и  $A_K=273K$ , соответственно.

Исследования неупругих свойств были проведены при кручении образцов. Заданная процессе изотермического нагружения деформация ( $\gamma_t$ ), включает неупругую ( $\gamma_{СНД}$ ) и пластическую ( $\gamma_{ПЛ}$ ) деформации. Неупругая деформация ( $\gamma_{СНД}$ ) является суммой величин эффектов сверхэластичности ( $\gamma_{СВ}$ ) и памяти формы ( $\gamma_{ЭПФ}$ ):  $\gamma_{СНД} = \gamma_{СВ} + \gamma_{ЭПФ}$ . Величину сверхэластичности определяли как величину возврата неупругой деформации в изотермических циклах «нагружение-разгрузка» при деформировании образцов. Величина эффекта памяти формы равна возврату неупругой деформации при последующем нагреве разгруженных образцов через интервал температур обратного МП. Накопленная при данной  $\gamma_t$  пластическая деформация соответствует остаточной деформации при завершении формовосстановления в процессе нагрева разгруженных образцов ( $\gamma_{ПЛ}$ ). В каждом последующем цикле  $\gamma_t$  увеличивалась (вплоть до разрушения образцов). Исследования неупругих свойств проведены в мартенситном состоянии при  $(164 \pm 2)K$  и в аустенитном состоянии при температурах  $(281 \pm 2)K$ ,  $(299 \pm 2)K$ ,  $(315 \pm 2)K$  и  $(239 \pm 2)K$ .

Влияние температуры изотермических циклов «нагружение-разгрузка» на максимальную величину суммарной неупругой деформации ( $\gamma_{СНД}(max)$ ), и соответствующей её величины эффектов памяти формы ( $\gamma'_{ЭПФ}$ ) и сверхэластичности ( $\gamma'_{СВ}$ ), а также пластической ( $\gamma'_{ПЛ}$ ) и заданной в цикле ( $\gamma'_t$ ) деформации указано в таблице 1. Видно, что наиболее высокие значения суммарной неупругой деформации наблюдаются при испытаниях образцов в мартенситном состоянии при  $164K$  и при температуре  $281K$  (на  $\sim 50$  градусов выше  $M_H$  и на  $\sim 8$  градусов выше  $A_K$ , когда даже незначительные внешние напряжения инициируют МП в фазу  $B19'$ ). При этом высокие значения  $\gamma_{СНД}$  достигаются при значительном накоплении пластической деформации. Обсуждаются условия и механизмы, обуславливающие высокие неупругие свойства образцов сплава  $Ti_{49.3}Ni_{50.7}$  (ат.%).

Таблица 1 – Максимальная величина неупругой деформации, и соответствующие ей величины эффектов памяти формы и сверхэластичности, пластической и общей заданной в цикле деформации в зависимости от температуры циклов «нагружение-разгрузка»

T, K	$\gamma_{СНД}(max)$ , %	$\gamma'_{ЭПФ}$ , %	$\gamma'_{СВ}$ , %	$\gamma'_{ПЛ}$ , %	$\gamma'_t$ , %
164	19.0	12.8	6.2	19.7	38.7
281	17.9	12.0	5.9	12.2	30.1
299	15.7	4.9	10.8	20.2	35.9
315	12.6	3.3	9.3	23.2	35.8
339	8.9	1.5	7.4	34.7	43.6

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