

3. Зависимости эффективного параметра порядка от степени деформации в монокристаллическом  $Ni_3Fe$  и крупнокристаллическом  $Ni_3Al$  имеют отличия от зависимостей, характерных для поликристаллов. Интенсивное понижение эффективного параметра дальнего атомного порядка и появление разупорядоченной фазы в этих сплавах происходит после больших степеней деформации, чем в поликристаллах  $Au_3Cu$  и  $Cu_3Pt$ .

4. Исходный размер ТАФД не оказывает существенного влияния на характер зависимости  $\eta_{эфф}(\epsilon)$ . Высокая исходная плотность ПАФГ также не оказывает решающего влияния на разупорядочение. В сплаве  $Cu_3Pd$  при малых деформациях понижение параметра порядка происходит не более интенсивно, чем в  $Au_3Cu$  и  $Cu_3Pt$ .

5. В исследованных сплавах выявляется единая зависимость между понижением ПДП и ростом плотности вновь образованных деформационных АФГ, в то время как зависимости параметра дальнего порядка от общей плотности АФГ различны для разных сплавов.

### Список литературы

1. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М.: МИСИС, 1994. 328 С.
2. Смирнов А.А. Молекулярно-кинетическая теория металлов. - М.: Наука, 1966. -428с.
3. Конева Н.А., Лычагин Д.В., Жуковский С.П., Козлов Э.В. Эволюция дислокационной структуры и стадии пластического течения поликристаллического железоникелевого сплава // ФММ. -1985. -Т. 60. -Вып. 1. - С.171-179.
4. Bakker H, Di L.M. Atomic disorder and phase transitions in intermetallic compounds by high – energy ball milling // Materials Science Forum 1992. - V. 88-90. -PP. 27-34.
5. Яковлева Э.С., Сюткина В.И., Шашков О.Д. Деформация упорядоченных сплавов с периодической антифазной доменной структурой // Труды ИФМ УрО АН СССР.-1975.- Вып.30.-С. 55-76.
6. Старенченко С.В., Сизоненко Н.Р., Старенченко В.А., Козлов Э.В. Деформационное разупорядочение сплава  $Au_3Zn$  // ФММ.-1996.-Т. 81.-Вып. 1.-С. 84 –90.

УДК 669.295'24:539.37.539.25/26.

## ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ СПЛАВА Ti–50,8 ат.% Ni НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ ЦИКЛИРОВАНИИ

Адресов В. А., Хусинов М. А.\*, Бондарев А. Б.

*Промышленный центр «МАТЭКС», Москва*

*\*Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого  
vestnik@novsu.ac.ru*

Многими экспериментами показано [1-3], что старение вызывает изменение псевдоупругих свойств сплавов TiNi. В частности, наблюдается повышение фазового и дислокационного пределов текучести. Здесь оказывают влияние как температура, так и продолжительность старения. Увеличение псевдоупругого возврата, как правило, является следствием возрастания фазового предела текучести и, соответственно, уровня деформирующих напряжений. Однако важнейшим условием в случае применения спла-

вов с высокими псевдоупругими свойствами в технике является их долговечность при механическом циклировании. В данной работе представлены результаты исследований, свидетельствующие о влиянии старения на псевдоупругость и долговечность сплава Ti-50,62 ат % Ni. Влияние различных видов обработки сплава на температуры мартенситных превращений (МП) иллюстрируется на рис. 1.

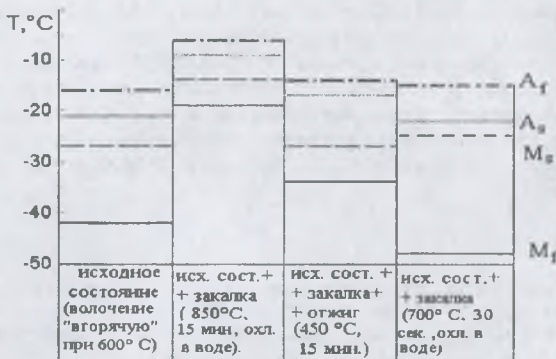


Рис. 1. Изменение температур МП от вида обработки. Сплав Ti-50,62 ат. % Ni.

Для определения температур МП использовался метод трёхточечного изгиба. Из рис. 1 следует, что закалка при 850°С в течение 15 мин повышает характеристические температуры, закалка и последующее старение (450°С, 15 мин) несколько снижает, а низкотемпературная закалка (700°С, 30 с) мало изменяет температуры МП по сравнению с исходным состоянием.

Долговечность при заданной деформации определялась по числу циклов до разрушения при циклическом изгибе проволоочных образцов диаметром 1,0 мм (рис. 2).

Диаграммы растяжения образцов, состаренных при разных температурах, приведены на рис. 3. Видно, что фазовый предел текучести с повышением температуры нагрева всех образцов, прошедших термическую обработку, уменьшается с 56 кг/мм<sup>2</sup> до 42 кг/мм<sup>2</sup>. Коэффициент деформационного упрочнения  $k = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon$  также заметно снижается по сравнению с ( $k$ ) исходного состояния.

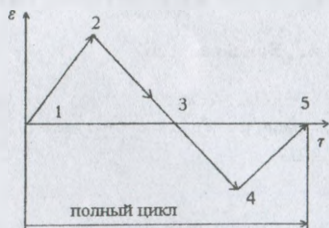
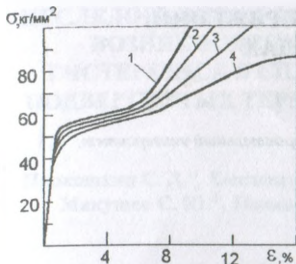
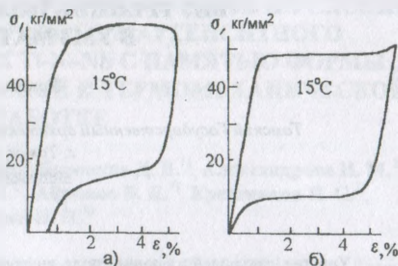


Рис. 2. Схема изгиба образца. 1-2, 3-4 — этапы активного изгиба; 2-3, 4-5 — разгрузки поочередно в одну и другую стороны.

По-видимому, выдержка в течение 1,5 ч вызывает релаксацию напряжений в материале и, как следствие, стабилизацию легкоподвижных границ раздела фаз. Это обстоятельство, по данным [1], приводит к снижению движущих сил возврата деформации. Из опыта (рис. 4, а) видно, что при разгрузке имеет место частичный возврат деформации. Псевдоупругая петля гистерезиса незамкнута. Наблюдается появление остаточной деформации ( $\varepsilon_{ост}$ ). В то время как после короткой выдержки (15 мин) происходит полный псевдоупругий возврат деформации (рис. 4б).

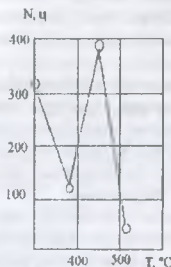


**Рис.3.** Диаграммы растяжения сплава Ti-50,8 ат%Ni: 1 — исходное состояние; 2 — после старения 380°C; 1,5 ч; 3 — 450°C; 1,5 ч; 4 — 520°C; 1,5 ч.



**Рис.4.** Диаграммы нагружение — разгрузка: а — старение 550°C, 60 мин; б — старение 450°C, 15 мин.

Влияние температуры старения на циклическую долговечность проиллюстрировано на рис. 5. Из рисунка видно, что температура старения 450° С обеспечивает максимальное число циклов до разрушения. Повышение температуры также как и увеличение длительности более 90 мин. снижает долговечность.



**Рис.5.** Зависимость долговечности (N) от температуры старения при  $\tau = 1,5$  ч

Для повышения долговечности и псевдоупругости использовалась термомеханическая обработка (ТМО), заключающаяся в деформировании проволоки волочением входную с последующей закалкой при температуре 700°C, 30с в воде. Короткая выдержка способствовала получению мелкозернистой равноосной структуры с большей величиной псевдоупругого возврата по сравнению с наклепанным состоянием вследствие волочения. Отсутствие систематических исследований пока не позволяет сделать однозначное заключение.

## Выводы

Анализ полученных данных показывает, что псевдоупругие свойства зависят от температуры старения.

Температуру 450°C можно считать оптимальной в связи с обеспечением наибольшей долговечности по сравнению с другими температурами старения. Уменьшение выдержки до 15 мин способствует повышению псевдоупругих свойств.

## Список литературы

1. Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. Л.: ЛГУ, 1987. 216 с.
2. Оцука К., Симидзу К., Судзуки К. и др. Сплавы с эффектом памяти формы / Под ред. Фикакубо Х.; пер. с яп. М., Металлургия, 1990. С.41-75.
3. Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно-аналитическая теория прочности. Л.: ЛГУ, 1993. С.236-245.