

КИНЕТИКА ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ НИКЕЛИДА ТИТАНА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

О.А.Малухина, М.А.Хусаинов, Н.В.Петров

KINETICS OF CHANGING FUNCTIONAL PROPERTIES OF SHAPE MEMORY TITANIUM NICKELIDE

O.A.Malukhina, M.A.Khusainov, N.V.Petrov

Политехнический институт НовГУ, Mikhail.Khusainov@novsu.ru

По результатам экспериментальных исследований формоизменения гистерезисов мартенситных превращений установлены закономерности изменения определяющих параметров свойств памяти формы в зависимости от величины приложенного напряжения.

Ключевые слова: мартенситное превращение, аустенит, гистерезис, память формы

We conducted some experiments on form change of hysteresises of martensitic transformations. The results of these experiments showed that key parameters of shape memory changed depending on applied stress rate.

Keywords: martensitic transformation, austenite, hysteresis, shape memory

Интерес к сплавам с эффектом памяти формы на основе никелида титана возрастает в связи с широким применением в качестве силовых конструктивных элементов в теплоэнергетике, электротехнике и в других производствах. Данные сплавы обладают высокими прочностными и уникальными, по величине воспроизводимости деформации памяти формы и циклической долговечности свойствами.

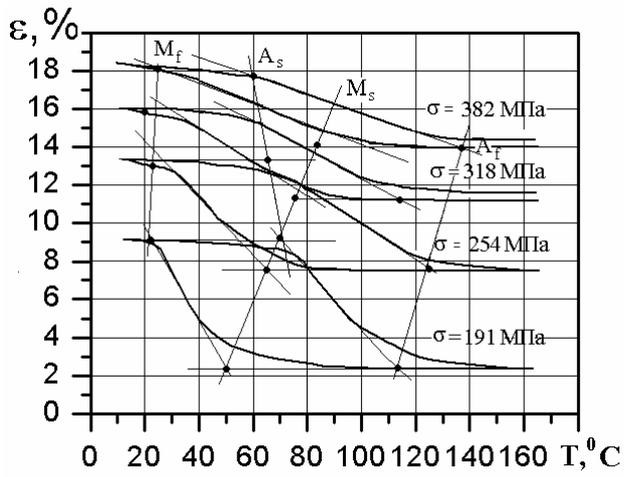
Для практического использования сплавов никелида титана особенно важным обстоятельством является реализация однократно и многократно обратимой деформации памяти формы при значительных противодействующих нагрузках в заданном интервале температур, обычно не выходящих за рамки температуры полного мартенситного превращения (МП).

В настоящей работе изучена кинетика изменения важнейших параметров указанных сплавов — деформации памяти формы ($\epsilon_{\text{эф}}$) и характеристических температур МП.

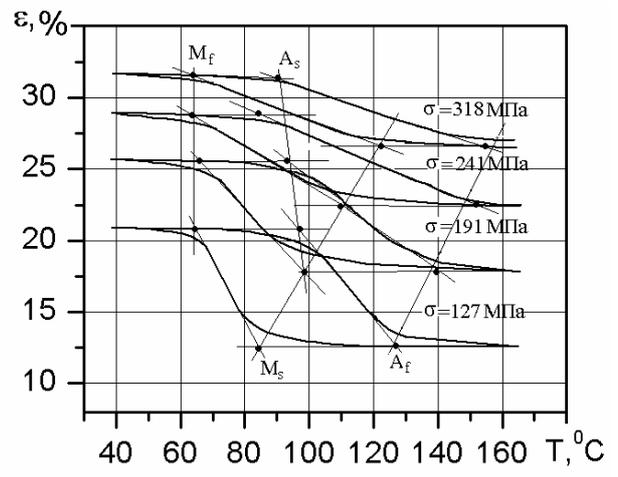
Исследования проводились на проволочных образцах $\varnothing 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,58$ сплавов TiNi эквивалентного состава, после отжига при 500°C в течение 30 минут с охлаждением в холодной воде, для фиксации твердого раствора и снятия внутренних напряжений, созданных при волочении. Диаметры образцов выбирались, исходя из значительного спроса на внутреннем и зарубежном рынках, в связи с разработкой и созданием тепловых двига-

телей и теплостанций. Здесь приводятся изученные нами закономерности изменения наиболее ответственных параметров гистерезисных кривых исследуемых сплавов (температуры МП, деформация эффекта памяти формы ($\epsilon_{\text{эф}}$) и ширина гистерезисов МП (ΔT)) в зависимости от величины приложенного напряжения. На рис.1 показано формоизменение петель гистерезиса после обычного отжига.

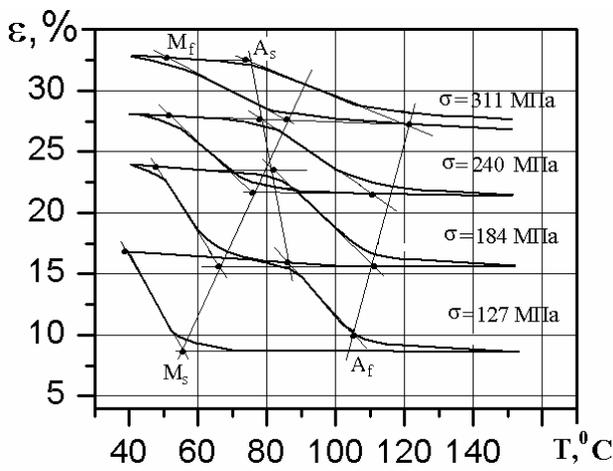
Видно, что с увеличением приложенного напряжения температура окончания прямого мартенситного превращения (M_f) и начала обратного мартенситного превращения (A_s) в указанном интервале напряжений ($\sigma = 191\text{--}382$ МПа) мало меняются. Температуры начала прямого мартенситного превращения (M_s) и окончания обратного мартенситного превращения (A_f) с повышением уровня приложенного напряжения смещаются в область повышенных температур. Такая закономерность сохраняется для всех исследуемых образцов, лишь менее выражена при увеличении диаметра от 0,4 до 1,0 мм. Особенно это касается температуры начала обратного мартенситного превращения (A_s). Величина деформации памяти формы ($\epsilon_{\text{эф}}$) с повышением уровня приложенного напряжения (σ) уменьшается (рис.2). Однако следует учитывать численное значение предела фазовой текучести ($\sigma_{\text{ф}}$). Если величина приложенного напряжения близкая к $\sigma_{\text{ф}}$, то следует ожидать высокий уровень деформации эффекта памяти формы.



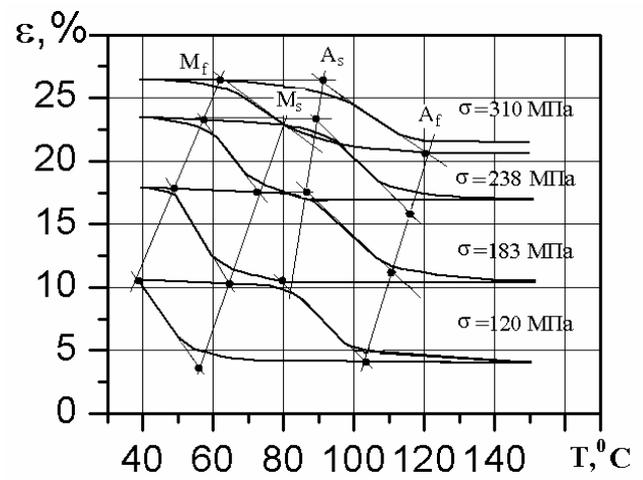
Образец TiNi Ø0,1 мм



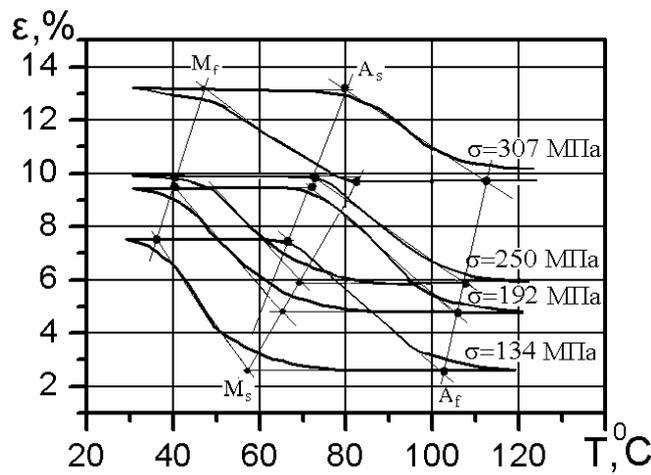
Образец TiNi Ø0,2 мм



Образец TiNi Ø0,3 мм



Образец TiNi Ø0,4 мм



Образец TiNi Ø0,58 мм

Рис. 1. Гистерезисы МП после отжига 500°C в течение 30 мин при различных уровнях механических напряжений

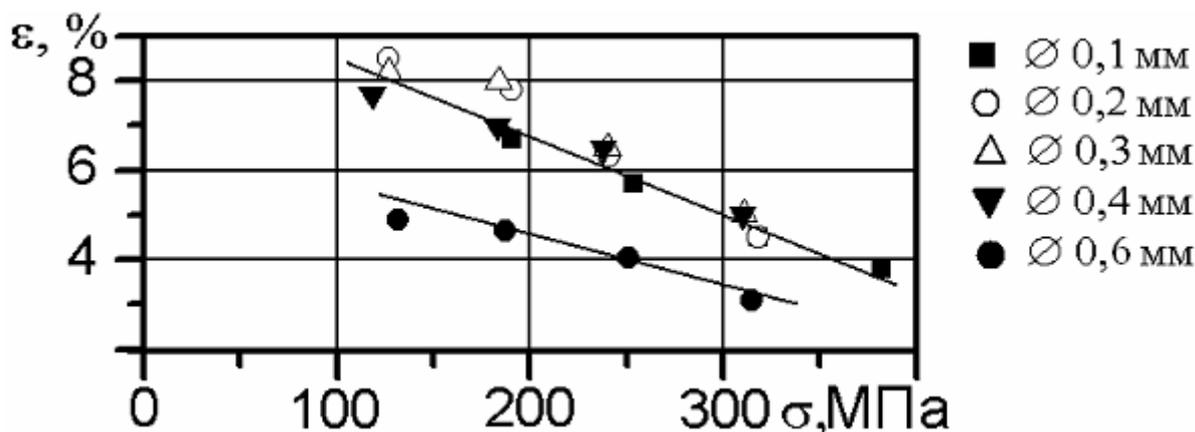


Рис.2. Зависимость деформации эффекта памяти формы проволочных образцов различных диаметров от величины приложенного напряжения после отжига 500°C, 30 мин

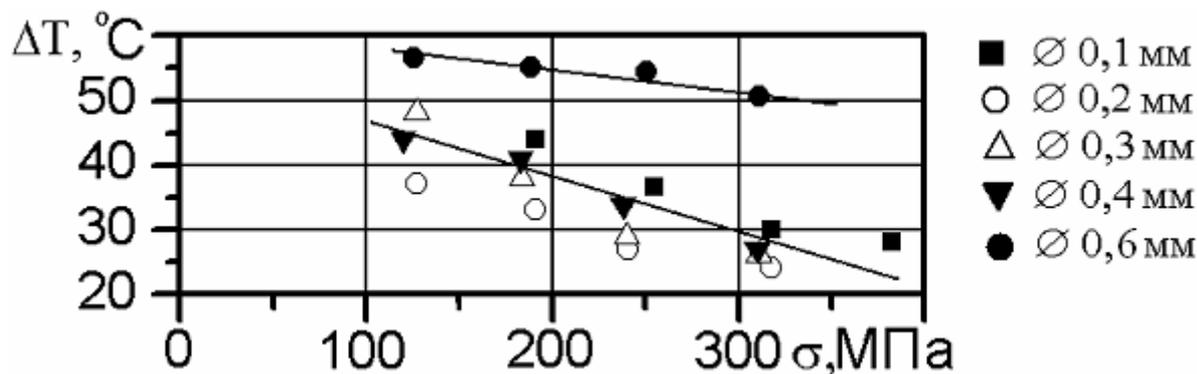


Рис.3. Зависимость ширины гистерезиса мартенситного превращения проволочных образцов от величины приложенного напряжения после отжига 500°C, 30 мин

Ширина гистерезиса МП также достаточно ответственный параметр, особенно в термовыключателях [1], запорных клапанах [2] при многократных действиях включения и выключения. Быстрое переключение (срабатывание) в заданном интервале температур осуществляется в случае малой ширины гистерезиса $\Delta T = ((A_s - M_f) + (A_f - M_s))/2$, при напряжениях близких к σ_{ϕ} . При этих напряжениях нефазовая пластичность обычно слабо выражена. При повторении циклов нагрев \leftrightarrow охлаждение происходит постепенное увеличение эффекта пластичности превращения. Завершается этот этап после 8-10 циклов насыщением эффекта. Данное явление [3] связывается с текстуробразованием мартенсита, обеспечивающим формоизменение во время перехода $B2 \rightarrow B19'$ (аустенит \rightarrow мартенсит) в направлении приложенной нагрузки. Эффект памяти формы согласуется с изменением ширины гистерезиса. Эффект пластичности превращения при напряжениях, близких к пределу фазовой текучести, достигает максимальных значений. При $\sigma \gg \sigma_{\phi}$ гистерезис сужается, деформация памяти формы уменьшается вследствие деформационного упрочнения сплава (рис.3).

Заключение

Разработана методика исследования функциональных свойств сплавов с эффектом памяти формы. Дается анализ закономерностей изменения температур МП и важнейших характеристик сплавов TiNi ($\epsilon_{\text{эф}}$, ΔT).

1. Патент РФ на изобретение №2130666 от 21.04.98 г. Термореле / М.А.Хусаинов, Б.Я.Тамбулатов. Оpubл. 20.05.99. Бюл.№14. С.1-4.
2. Патент № 2171937 от 27.01.2002 г. Термоклапан / М.А.Хусаинов, Б.Я.Тамбулатов, А.Г.Ларионов, О.А.Малухина. Оpubл. 10.08.01 г. Бюл. №22.
3. Лихачев В.А., Кузьмин С.П., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. Л.: ЛГУ, 1987. С.150-152.

References

1. Khusainov M.A., Tambulatov B.Ia. Thermorelay. Patent RF, no 2130666, 1999.
2. Khusainov M.A., Tambulatov B.Ia., Larionov A.G., Malukhina O.A. Termoklapan [Thermal valve]. Patent RF, no 2171937, 2002.
3. Likhachev V.A., Kuz'min S.P., Kamentseva Z.P. Effekt pamiati formy [Shape memory effect]. Leningrad, LSU Publ., 1987, pp. 150-152.