

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА TiNi С РАЗЛИЧНОЙ МИКРОСТРУКТУРОЙ^{1,2}Рубаник В.В., ³Прокошкин С.Д., ^{1,2}Рубаник В.В. мл.,
²Милюкина С.Н., ³Рыклина Е.П.¹ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси»,
г. Витебск, Беларусь, E-mail: ita@vitebsk.by²УО «Витебский государственный технологический университет»,
г. Витебск, Беларусь³ФГУО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС»,
г. Москва, Россия

Одним из перспективных способов воздействия на микроструктуру поликристаллов и, как следствие, их макросвойств, является ультразвуковая обработка (УЗО) [1,2]. Однако работы по влиянию ультразвуковых колебаний на функциональные свойства сплавов с эффектом памяти формы (СПФ) и их поведение, имеющиеся в литературных источниках, весьма немногочисленны. В связи с активным расширением практического применения СПФ, в частности, в медицине, актуальность проведения дальнейших исследований в этом направлении не вызывает сомнений. Целью данной работы является исследование влияния ультразвукового воздействия на функциональные свойства образцов медицинского сплава Ti-50,7ат.%Ni с эффектом памяти формы в зависимости от предварительно сформированной в них микроструктуры.

Для проведения исследований использовали проволоочные образцы производства ПЦ «МАТЭК-СПФ» (Москва, РФ) диаметром 0,45 мм, которые были получены низкотемпературной термомеханической обработкой волочением с накопленной деформацией $\epsilon=44\%$ ($\epsilon=0.6$). Различные структурные состояния материала обеспечивали проведением последеформационного отжига (ПДО) по следующим режимам:

- 1) 430 °С, 1 ч → смешанная (наносубзеренная + нанокристаллическая) + мелкодисперсные выделения фазы Ti_3Ni_4 – образец №1;
- 2) 800 °С, 1 ч → рекристаллизованная – образец №2;
- 3) 800 °С, 1 ч + 430 °С, 10 ч → рекристаллизованная + крупные выделения фазы Ti_3Ni_4 – образец №3.

В образцах TiNi методами дифференциальной сканирующей калориметрии исследовали кинетику мартенситных превращений при охлаждении и нагревании в диапазоне температур от +60 °С до -60 °С. Далее образцы закрепляли в разрезном титановом волноводе и осуществляли в течение 5 мин ультразвуковую обработку (УЗО) при амплитуде колебаний на торце волновода ~ 5 мкм, частоте ультразвуковых колебаний – 22 кГц. УЗО проводили при комнатной температуре, используя для этого ультразвуковой генератор УЗДН-2Т. После чего снова исследовали кинетику мартенситных превращений в обработанных образцах и анализировали калориметрические зависимости, полученные до и после УЗО.

Установлено, что в образце №1 после ультразвукового воздействия характеристические температуры снижаются и составляют: $M_n'=37$ °С, $M_n'=29$ °С, $M_k'=22$ °С, $A_n=25$ °С, $A_n=32$ °С, $A_k=39$ °С, – в то время как до УЗО они были несколько выше и составляли: $M_n'=47$ °С, $M_n'=38$ °С, $M_k'=25$ °С, $A_n=26$ °С, $A_n=41$ °С, $A_k=50$ °С (рис.1). При этом в обоих случаях реализация превращений осуществлялась по схеме $B2 \leftrightarrow R$, а энтальпия перехода составляла ~ 3,3 Дж/г. Таким образом, в данном случае наибольшее влияние ультразвук оказывает на температуры начала и пика мартенситного превращения из аустенитной фазы B2 в промежуточную R-фазу и на температуры пика и окончания обратного мартенситного превращения из R-фазы в B2.

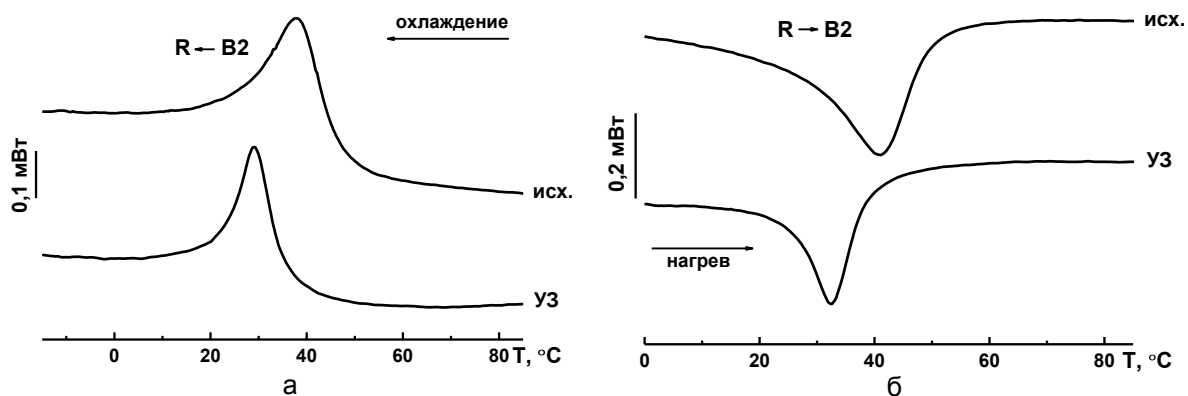


Рисунок 1 – Калориметрические зависимости для образца сплава Ti-50,7ат. %Ni после ПДО при температуре 430°C в течение 1 часа до и после ультразвукового воздействия при охлаждении (а) и нагревании (б)

В образце №2 с рекристаллизованной микроструктурой реализуются двустадийные превращения по схеме $B2 \leftrightarrow B19'$ как при охлаждении, так и при нагревании, с характеристическими температурами: $M_n = -38$ °C, $M_{n1} = -41$ °C, $M_{n2} = -47$ °C, $M_k = -55$ °C, $A_n = -30$ °C, $A_{n1} = -24$ °C, $A_{n2} = -17$ °C, $A_k = -13$ °C (рис.2). Причём после ультразвуковой обработки последовательность превращений и характеристические температуры практически не изменяются (± 1 °C), а энтальпия превращений составляет $\sim 12,4$ Дж/г.

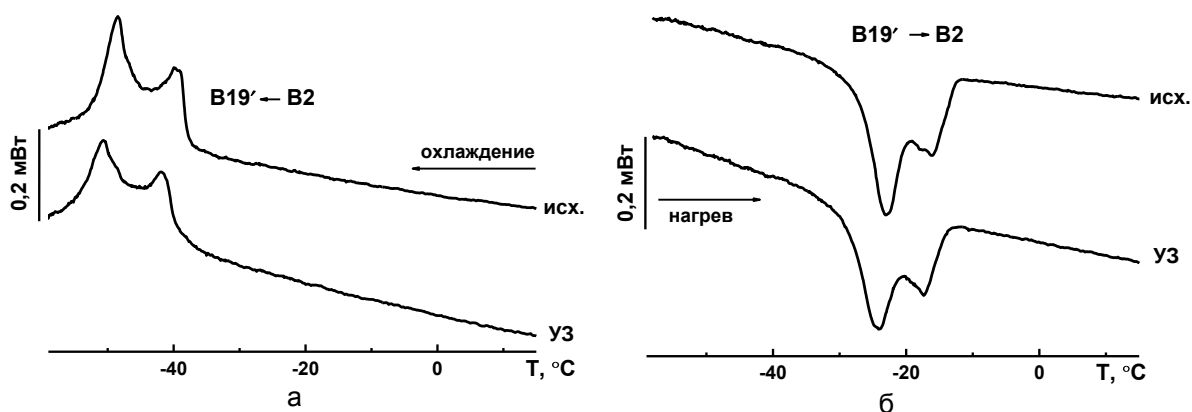


Рисунок 2 – Калориметрические зависимости для образца сплава Ti-50,7ат. %Ni после ПДО при температуре 800°C в течение 1 часа до и после ультразвукового воздействия при охлаждении (а) и нагревании (б)

В образце №3 до ультразвукового воздействия при охлаждении наблюдается последовательность мартенситных превращений по схеме $B2 \rightarrow R \rightarrow B19'$, а при нагревании по схеме $B19' \rightarrow B2$ (рис.3). Характеристические температуры превращений составляют: $M_n' = 42$ °C, $M_n' = 37$ °C, $M_k' = 34$ °C, $M_n = -3$ °C, $M_n = -8$ °C, $M_k = -9$ °C, $A_n = 39$ °C, $A_n = 40$ °C, $A_k = 42$ °C, а энтальпии переходов $\sim 5,2$ Дж/г для $B2 \rightarrow R$ и $\sim 8,9$ Дж/г для $R \rightarrow B19'$. В образце после ультразвуковой обработки при охлаждении наблюдается повышение температур перехода $B2 \rightarrow R$ на ~ 3 °C и довольно значительное снижение температур перехода $R \rightarrow B19'$ с некоторым его уширением: $M_n = -21$ °C, $M_n = -25$ °C, $M_k = -29$ °C, при этом энтальпии превращений несколько снижаются и составляют: $\sim 3,8$ Дж/г для $B2 \rightarrow R$ и $\sim 6,6$ Дж/г для $R \rightarrow B19'$ переходов. При нагревании образца после УЗО реализуется последовательность переходов по схеме $B19' \rightarrow R \rightarrow B2$ с характеристическими температурами: $A_n' = 34$ °C, $A_n' = 35$ °C, $A_n = 41$ °C, $A_k = 48$ °C.

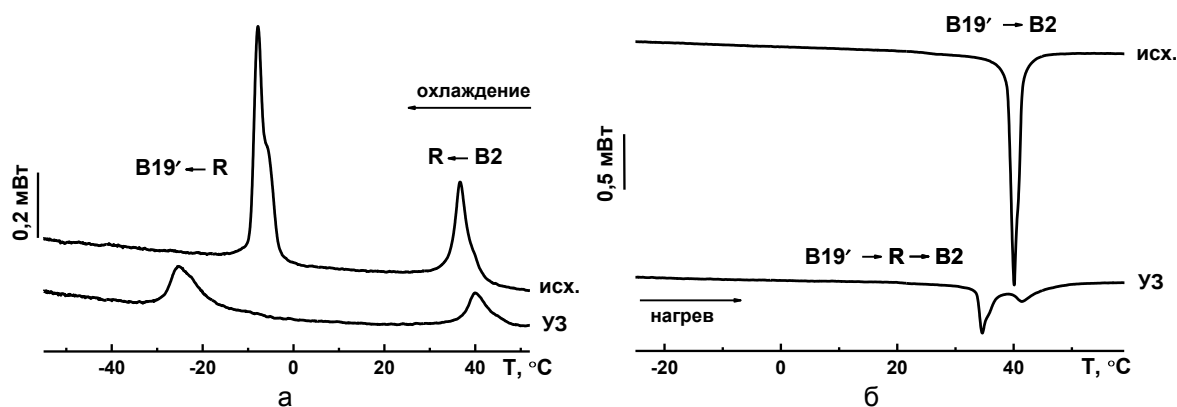


Рисунок 3 – Калориметрические зависимости для образца сплава Ti-50,7ат.%Ni после ПДО по режиму 800 °С, 1 ч + 430 °С, 10 ч до и после ультразвукового воздействия при охлаждении (а) и нагревании (б)

Следует отметить, что, так как УЗО образцов осуществлялась при комнатных температурах (~ 20 °С), то при её реализации образцы №1 и №3 находились в промежуточной R-фазе, а образец №2 – в аустенитном состоянии. Скорее всего, наблюдаемые изменения характеристических температур в образцах №1 и №3 связаны не только с их микроструктурным состоянием, но также и фазовым состоянием. Действительно, в работе [3,4] отмечается, что максимальное влияние на термомеханические свойства ультразвук оказывает на материал в мартенситном и двухфазном состоянии. Причем за счет ультразвукового воздействия возможен перевод материала из мартенситного в аустенитное состояние, т.е. реализация эффекта памяти формы [5].

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что ультразвуковая обработка образцов медицинского сплава Ti-50,7ат.%Ni с различной исходной микроструктурой оказывает разное воздействие на характеристические температуры реализующихся в них мартенситных превращений, а, следовательно, и их функциональные свойства, что может служить основой для разработки ультразвуковых методов задания необходимых функциональных свойств изделиям из сплавов эффектом памяти формы.

Список литературы:

1. Кулемин, А.В. Ультразвук и диффузия в металлах / А.В. Кулемин // М.: Металлургия, 1978. – 200 с.
2. Северденко, В.П. Ультразвук и пластичность / В.П. Северденко, В.В. Клубович, А.В. Степаненко // Мн.: Наука и техника, 1976. – 446 с.
3. Рубаник, В.В. (мл.) Иницирование эффекта памяти формы в сплавах TiNi под действием ультразвуковых колебаний: дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.07 / В.В. Рубаник (мл.). – Минск, 2005.
4. Влияние ультразвуковых колебаний на пластические свойства материалов с памятью формы / С.А.Кириллов, В.В.Клубович, А.В.Козлов и др. // Материалы с эффектом памяти формы: Сб. докл. 1-го Рос.-Амер. семинара, СПб., 13-17 нояб. 1995 г.: В 3 ч.— СПб., 1995.— Ч. 1.— С. 81–84.
5. Klubovich, V.V. The ultrasounds initiation of SME / V.V. Klubovich, V.V. Rubanik, V.V. Rubanik Jr. // J. de Phys. -2003. -Vol. 112, № IV. – Pp. 249–251.