

ИНИЦИИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ МАРТЕНСИТНОЙ НЕУПРУГОСТИ В TiNi СПЛАВЕ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

В.В.Клубович *, В.В.Рубаник**, В.В.Рубаник мл. *

* *Институт технической акустики НАН Б, Витебск, Беларусь*

** *Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь*
rubanik@vstu.unibel.by

В работе показана возможность инициирования целого спектра эффектов мартенситной неупругости в никелиде титана, таких как: эффект памяти формы, генерация и релаксация реактивных напряжений с помощью энергии ультразвуковых колебаний.

Проявление эффектов возврата формы, пластичности превращения, генерации реактивных напряжений в материалах обладающих эффектом памяти формы (ЭПФ), в настоящее время, достаточно исследованы и связываются с температурным фактором, механическими напряжениями, внешним давлением [1-2]. Так как ультразвуковые колебания (УЗК) обуславливают при определенных условиях не только нагрев материала, но и возникновение в нем значительных знакопеременных механических напряжений, то естественно предположить, что УЗК помимо изменения кинетики деформационного поведения сплавов с эффектом памяти формы должны инициировать и сами фазовые превращения.

В работах [3-5] нами была показана принципиальная возможность инициирования ЭПФ за счет энергии ультразвука, а именно: воздействие на TiNi образцы ультразвуковых колебаний позволило осуществить фазовое превращение мартенсит→аустенит, что приводит к полному восстановлению исходной формы образцов. Т.е. только за счет энергии ультразвука добивались устойчивого проявления одностороннего ЭПФ.

Для изучения кинетики фазовых превращений под действием ультразвука исследовали распределение температурных полей создаваемых акустическими колебаниями в TiNi образцах эквИАтомного состава диаметром 10мм волновой длины. Для возбуждения в образце ультразвуковых колебаний использовали генератор с автоматической подстройкой резонансной частоты и непрерывной регистрацией частоты и амплитуды УЗК. Установлено, что в процессе воздействия ультразвука максимальный нагрев наблюдается в узлах смещений и минимальный - в пучностях смещений, или узлах механических напряжений образцов. Разница температур по длине образца в процессе его нагрева за счет УЗК до $T \approx A_f$ сохраняется и составляет до 20°C. В аустенитном состоянии УЗК практически не вызывают дальнейшего разогрева TiNi волновода и его температура стабилизируется. Это обусловлено более низким уровнем внутреннего трения TiNi в аустенитном состоянии по

сравнению с мартенситным. Кроме того, при переходе материала из мартенситного в аустенитное состояние наблюдается увеличение и амплитуды смещения TiNi волновода. Изменение резонансной частоты в зависимости от времени действия УЗК и температуры на поверхности образца указывает, что фазовое превращение в материале под действием ультразвука начинается и заканчивается при более низкой температуре по сравнению с нагревом в печи.

Результаты еще одного опыта свидетельствующего о возможности фазового превращения мартенсит→аустенит под действием ультразвука приведены на рис.1. Исследования проводили на проволочных образцах равноатомного никелида титана диаметром 0.65 мм. В качестве экспериментальной использовали установку "ИМАШ". После отжига при 500°C в течении 1 часа образцы TiNi исходной рабочей длины 132 мм деформировали растяжением (3 %), жестко фиксировали в нагруженном или свободном состоянии. Нагрев (или охлаждение с последующим нагревом) осуществляли в печи со скоростью 2 °C/мин. В процессе нагрева через интервал температур обратного фазового превращения ($A_s - A_f$) в образце возбуждали ультразвуковые колебания. Частота колебаний составляла 22 кГц, амплитуда на торце волновода - 5 мкм. Время ультразвукового воздействия - 3 с. Ультразвуковой генератор обеспечивал автоматическую подстройку резонансной частоты.

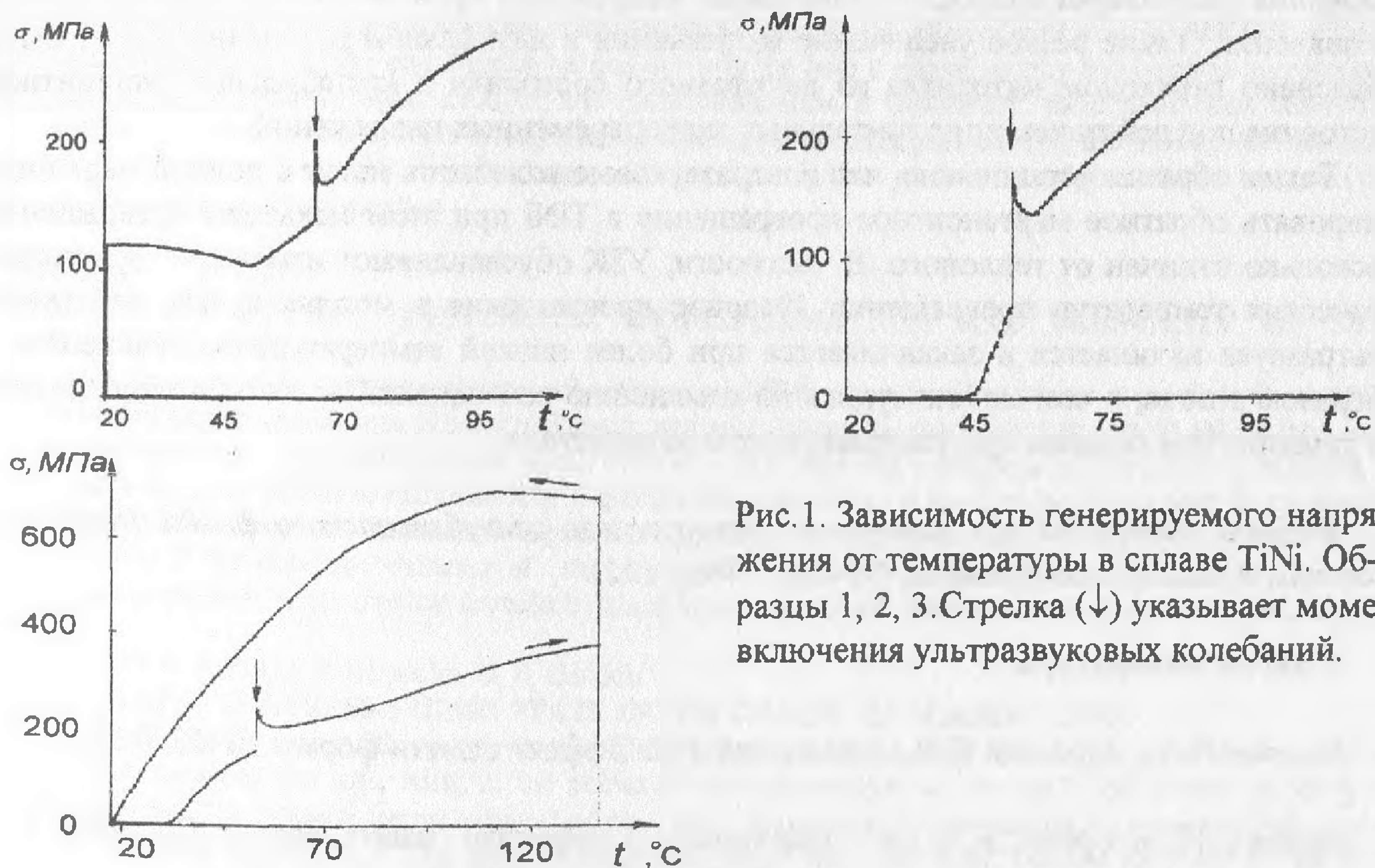


Рис.1. Зависимость генерируемого напряжения от температуры в сплаве TiNi. Образцы 1, 2, 3. Стрелка (↓) указывает момент включения ультразвуковых колебаний.

Предварительно образцы Ti-Ni деформировали в мартенситном ($T=20^\circ\text{C} < M_f$, образцы 1, 2) или аустенитном ($T > A_f$, образец 3) состоянии и затем жестко фиксировали в захватах экспериментальной установки. Причем фиксацию (жесткое защемление) образцов после достижения требуемой деформации (3% для образцов 1, 2) проводили как в нагруженном состоянии (образец 1), так и в свободном (образец 2), т.е. после снятия деформационного напряжения. Далее для всех случаев следовала генерация реактивных напряжений за счет нагрева образца в процессе которого осуществляли воздействие на него УЗК.

В образце 1 после начала нагрева наблюдается небольшое падение напряжения (рис. 1а), связанное с релаксацией напряжений вплоть до A_s . В интервале $A_s - A_f$ происходит рост напряжений. Возбуждение в этом температурном интервале ультразвуковых колебаний вызывает мгновенный рост напряжений, величина которых зависит от мощности вводимого ультразвука. После прекращения воздействия УЗК с увеличением температуры происходит падение напряжения. Генерация реактивных напряжений под действием УЗК наблюдается во всем интервале температур $A_s - A_f$, причем возникающие напряжения тем больше, чем ближе к A_s температура образца. В образце 2, деформированном на 3 % в мартенситном состоянии и разгруженном (в отличие от 1 образца) в процессе нагрева в заневоленном состоянии генерируются сравнимые по величине напряжения, как и в неразгруженном образце 1. Материал продеформированный и заневоленный при 700 МПа в высокотемпературной фазе ($T > A_f$, образец 3), а затем охлажденный до $T < M_f$, при нагреве так же генерирует реактивные напряжения. Возбуждение ультразвуковых колебаний в интервале $A_s - A_f$, при этом приводит к росту напряжений.

Одинаковое поведение образцов в результате ультразвукового воздействия, вероятно, обусловлено идентичными процессами происходящими в материале при генерации реактивных напряжений. Возникающие под действием УЗК реактивные напряжения практически не зависят от способа предварительного нагружения и достигают 100-150 МПа. Выключение ультразвука приводит к снижению напряжения практически до первоначального значения. Такое резкое увеличение напряжения в двухфазном состоянии может быть объяснено переходом материала из двухфазного состояния в нестабильное аустенитное состояние под действием дополнительных знакопеременных напряжений.

Таким образом установлено, что ультразвуковые колебания могут в полной мере инициировать обратное мартенситное превращение в TiNi при этом механизм превращения несколько отличен от теплового. В частности, УЗК обуславливают изменение характеристических температур превращения. Фазовое превращение в материале под действием ультразвука начинается и заканчивается при более низкой температуре по сравнению с нагревом в печи, о чем можно судить по изменению резонансной частоты в зависимости от температуры образца при ультразвуковом воздействии.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (гранты Т99-338, Т99М-132).

Список литературы

1. Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. Л.:ЛГУ, 1987. 216 с.
2. Беляев С.П., Егоров С.А. и др. // Материалы с эффектом памяти формы: Сб. докл. 1-го Российско-Американского семинара. С.-Петербург, 1995. Ч.1. С. 11-19.
3. Способ инициирования эффекта памяти формы. Клубович В.В., Рубаник В.В. и др. Патент № 2413 РБ; Заявл. 05.07.1996; Оpubл. 30.09.1998 // Афіцыйны бюлетэнь Дзярж. пат. ведамства РБ. 1998.
4. Рубаник В.В., Беляев С.П. и др. Влияние ультразвука на деформационное поведение никелида титана // Вестн. Тамб. ун-та, 1998. Т.3, № 3. С. 265-267.
5. Klubovich V.V., Rubanick V.V. et al. / Proc. II Intern. Conf. on SMST: Engineering and Biomedical Applications. Asilomar, Pacific Grove, CA (USA), 1997. P. 59-64.