

УДК 669.018.2

ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАТНОГО МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В TiNi

В.В. Рубаник, В.В. Клубович*, В.В. Рубаник (мл.)*

Витебский государственный технологический университет

* Институт технической акустики НАН Беларуси

Ранее нами было показано, что за счет возбуждения акустических колебаний в TiNi образцах возможно инициировать практически весь спектр эффектов мартенситной неупругости: эффект памяти формы, пластичность превращения, генерацию реактивных напряжений [1]. И хотя полностью механизм ультразвукового воздействия на сплавы с памятью формы не установлен, можно утверждать, что основное его влияние связано с разогревом материала в результате поглощения акустической энергии. В связи с тем, что внутреннее трение TiNi сильно зависит от фазового состояния, степень поглощения энергии ультразвука и скорость нагрева будут также зависеть от фазового состояния материала. Кроме того, возбуждение продольных ультразвуковых колебаний в TiNi образцах резонансной длины с неизбежностью приводит к неравномерности его нагрева по длине. Это обусловлено неравномерностью распределения механических напряжений, которые максимальны в узлах и минимальны в пучностях ультразвуковых смещений образца.

Исследования по распределению температурных полей, создаваемых акустическими колебаниями, проводили на TiNi образцах примерно эквиатомного состава волновой длины диаметром 10 мм. Исходные характеристические температуры материала имели значения: $M_n=70^{\circ}\text{C}$, $M_s=60^{\circ}\text{C}$, $A_n=93^{\circ}\text{C}$ и $A_s=105^{\circ}\text{C}$. Для возбуждения в образце ультразвуковых колебаний (УЗК) использовали генератор с автоматической подстройкой резонансной частоты и непрерывной регистрацией частоты и амплитуды УЗК. Образцы к концентратору крепили методом резьбового соединения.

Для изучения температурного профиля всего образца в процессе воздействия УЗК была использована система "Thermovision 880" фирмы Agema. На рис.1 приведена блок-схема контрольно-измерительного комплекса, используемого для исследований. Термовизионная система состоит из термографического видеокамерного блока, черно-белого

контрольного монитора, видеомагнитофона и компьютера для обработки данных с цветным дисплеем. Измерения проводили в температурном интервале от 20°C до 150°C, т.е. в интервале мартенситных превращений с точностью 0.5°C. Видеокамерный блок располагался так, что позволял снимать весь образец и место соединения образца с концентратором (рис.2). На рис.2b приведена цветокодирующая температурная шкала для этих испытаний. Запись процесса велась на видеомагнитофон, с которого в дальнейшем информация вносилась в компьютер и обрабатывалась.

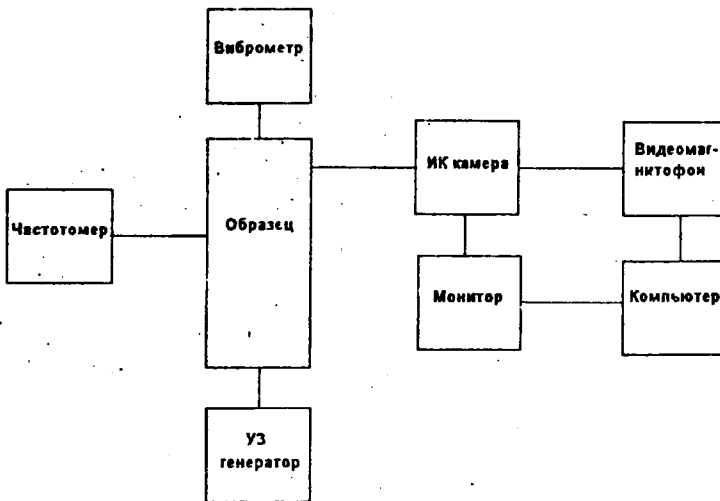


Рис.1. Блок-схема измерений распределения температуры по поверхности образца

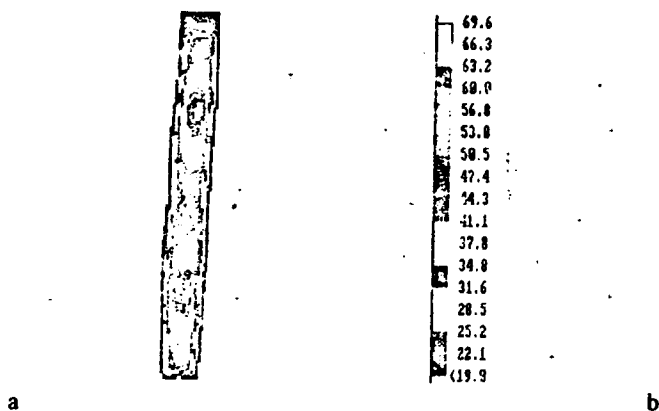


Рис.2. Инфракрасный термографический профиль TiNi волнового образца через 150 с после начала возбуждения УЗК

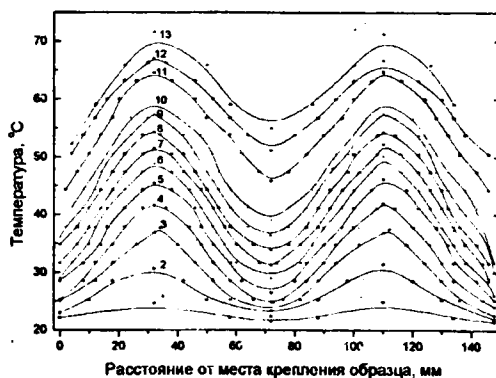


Рис.3. Распределение температур по поверхности TiNi образца в процессе УЗК воздействия. Время действия УЗК: 1 - 4; 2 - 13; 3 - 22; 4 - 31; 5 - 40; 6 - 49; 7 - 58; 8 - 67; 9 - 78; 10 - 89; 11 - 118; 12 - 146; 13 - 165 секунд. Резонансная частота в начальный момент озвучивания 22.3 кГц

Установлено, что в образцах резонансной длины в процессе воздействия ультразвука максимальный нагрев наблюдается в узлах смещений и минимальный в пучностях смещений, или узлах механических напряжений. За счет теплообмена температура по длине образца со временем вырабатывается. Однако разница температур по длине образца в процессе его нагрева за счет УЗК до $T \approx A_c$ сохраняется и составляет до 20°C (рис.3). 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 наблюдалось увеличение и амплитуды смещения TiNi волновода. Так, при исходной амплитуде смещений торца волновода 2 мкм (мартенситное состояние) переход в аустенитное состояние сопровождался увеличением амплитуды до 8-12 мкм. Изменение резонансной частоты (рис.4) 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. Эти данные подтверждают ранее сделанные выводы об изменении характеристических температур под действием УЗК, полученные с помощью dilatометрических исследований [1].

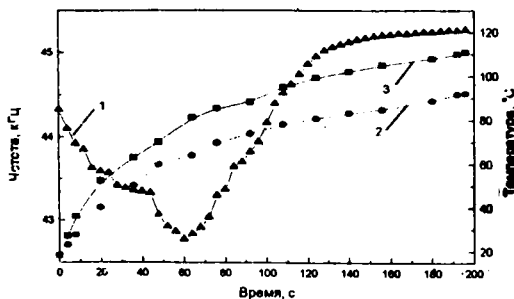


Рис.4. Изменение резонансной частоты УЗК (кривая 1), максимальной (кривая 3) и средней (кривая 2) температуры на поверхности TiNi образца длиной 80мм в процессе его озвучивания

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 на поверхности образца при ультразвуковом воздействии.

Литература:

1. Generation of Shape Memory Effect in TiNi Alloy by Means of Ultrasound. V.V.Klubovich, V.V.Rubanick, V.G.Dorodeiko, V.A Likhachov, V.V.Rubanick Jr. /Proceedings II Intern. Conf. on Shape Memory and Superelastic Technologies: Engineering and Biomedical Applications. -Asilomar, Pacific Grove, CA (USA), March, 1997 - P.59-64.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского ФФИ (проект Т97М - 167).