

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В НИКЕЛИДЕ ТИТАНА ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ И ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОМ НАГРЕВЕ

Клубович В.В., Рубаник В.В., Рубаник В.В. (мл), Шадурский А.В.

ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», г. Витебск,
ita@vitebsk.by

Сплавы на основе никелида титана, обладающие эффектом памяти формы (ЭПФ), находят применение в медицине и технике благодаря своим уникальным механическим свойствам. Эти материалы обладают чрезвычайно большими восстанавливаемыми деформациями (порядка 10%) неупругой природы. Способность полностью возвращать большие деформации – результат термоупругого фазового перехода из низкотемпературной мартенситной (М) в высокотемпературную аустенитную (А) фазу. Именно это свойство позволяет использовать сплавы с памятью формы (СПФ) во многих инновационных технических решениях.

Компьютерное моделирование процессов распространения тепла является важным звеном в изучении поведения СПФ при инициировании фазовых превращений. При этом необходимо знать как физические характеристики сплава, так и их температурную зависимость. В частности, в процессе фазового перехода изменяется значение удельной теплоемкости, модуля Юнга, удельное электрическое сопротивление, что влечет за собой изменение акустических свойств материала. Методами дифференциальной сканирующей калориметрии, динамического механического анализа (ДМА) [1], а также четырехзондовым методом были изучены физические характеристики используемого сплава в разных фазовых состояниях. Полученные данные (рис.1) использовались при моделировании обратного термоупругого фазового превращения инициированного ультразвуковыми колебаниями и токовым нагревом.

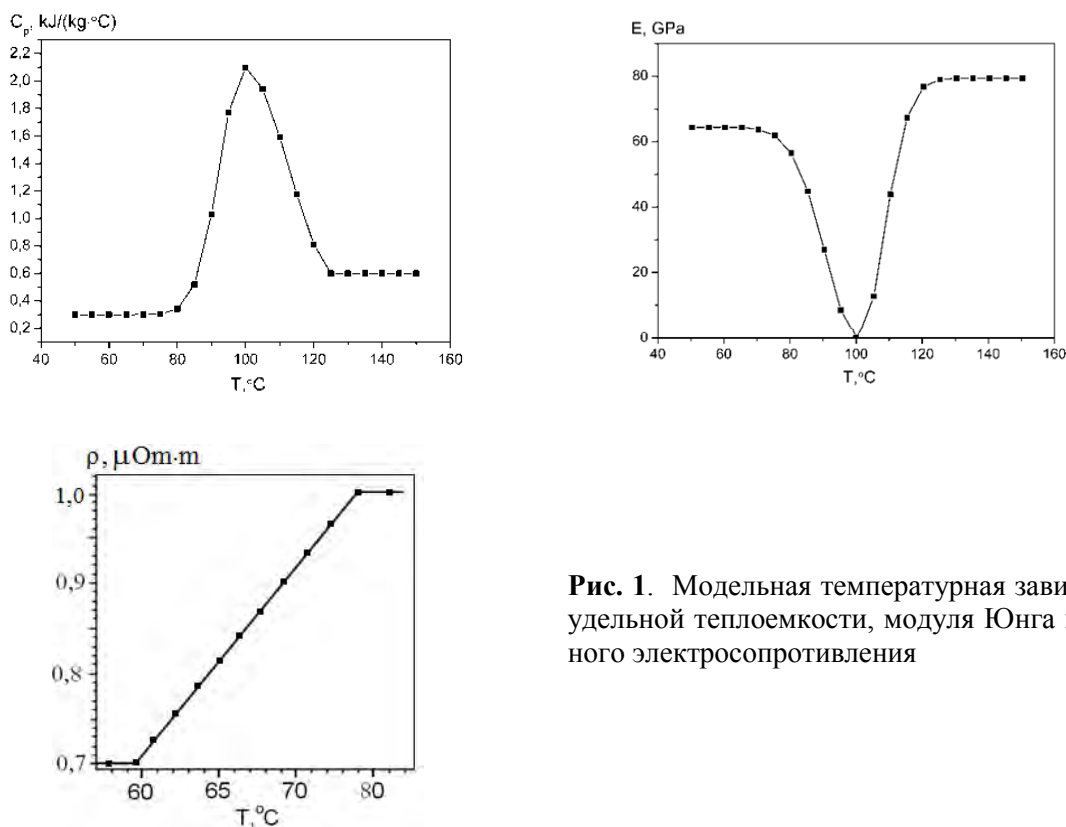


Рис. 1. Модельная температурная зависимость удельной теплоемкости, модуля Юнга и удельного электрического сопротивления

В никелиде титана в мартенситной фазе поглощение энергии колебаний обусловлено движением легкоподвижных границ раздела, что приводит к резкому увеличению внутреннего трения в мартенситном состоянии. При моделировании температурной зависимости внутреннего трения учитывались экспериментальные данные [2], а так же то, что в высокотемпературной аустенитной фазе внутреннее трение намного меньше, чем в низкотемпературной.

Полученные расчетные результаты были использованы при исследовании поведения исполнительных элементов пьезоэлектрических приводов. С целью изменения траектории движения рабочих исполнительных элементов, а так же уменьшения времени ультразвукового инициирования фазового превращения возбуждение в сплаве УЗК осуществляли последовательно на нескольких резонансных частотах.

Изменение резонансной частоты ультразвуковых колебаний, например с 22 кГц на 44 кГц, в момент, когда в узловых точках достигнута температура A_k , обеспечивает интенсивный нагрев образца в новых узлах механических смещений, что позволяет значительно быстрее реализовать эффект памяти формы по всему образцу. Моделирование процесса ультразвукового инициирования ЭПФ за счет последовательного возбуждения двух резонансных частот показало, что скорость изменения температуры TiNi волновода достигает 8 градусов в секунду.

Когда помимо перемещения пьезоэлектрическому приводу необходимо поднять достаточно большой груз, исполнительные элементы, выполненные из сплава с ЭПФ, должны обеспечить соответствующие реактивные механические напряжения. Т.е. подводимая энергия для реализации обратимого термоупругого превращения должна быть значительной, что не всегда может обеспечиваться пьезоэлектрическим элементом. В этом случае вполне возможно реализовать ЭПФ посредством токового нагрева исполнительных элементов. При этом напряжение может подаваться как непосредственно на исполнительные элементы, так и прикладываться между металлизированной стороной пьезоэлемента, к которой крепятся исполнительные элементы, и электропроводящей поверхностью, по которой движется привод.

Тепловизионные данные показали хорошее совпадение экспериментальных и расчетных результатов процесса электроконтактного и ультразвукового нагрева TiNi проволоки диаметром $d = 0.6$ мм до температуры обратного фазового превращения. В качестве источника питания использовался лабораторный стабилизированный выпрямитель ТЕС 23, работающий в режиме стабилизации тока. Диапазон изменения напряжения выходного напряжения $U = (0.1 - 30)$ В, выходного тока $I = (0.05 - 2.5)$ А.

Исследование кинетики ультразвукового нагрева TiNi производилось на простейшем приводе, состоящим из пьезокерамического элемента ВаTiO₃ диаметром 24 мм и толщиной 2 мм с припаянными к одной из сторон пьезокерамики TiNi-проволочками (исполнительные элементы) диаметром 0,6 мм. Динамика нагрева изучалась как по линейному профилю, так и по точкам. Температурное поле фиксировалось с частотой 10 Гц.

Результаты исследований по применению в качестве исполнительных элементов сплава TiNi, обладающего ЭПФ, в пьезокерамических приводах позволяют судить об адекватности моделей для электроконтактного и ультразвукового нагрева, а так же сделать вывод, что такие привода могут осуществлять дополнительные функции, расширяющие область их практического применения.

Список литературы

1. Клубович, В.В. Использование динамического механического анализа для определения механических свойств никелида титана / В.В. Клубович, В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл., С.Н. Милюкина // 49-й Междун. науч. симпоз. «Актуальные проблемы прочности», 14-18 июня 2010 г., Киев, Украина: тез. – Киев, 2010. – С. 130.
2. Ооцука, К. Сплавы с эффектом памяти формы / К. Ооцука, К. Симидзу, Ю. Судзуки и др. // Под ред. Фунакубо Х.: пер. с японск. – М.: Металлургия, 1990. – 224 с.