

32. Новиков Н. В., Девик Л. И., Левитас В. И. Анализ напряженного состояния пластических прослоек между жесткими зёрнами // Сверхтвёрдые материалы. - 1980. - №2. - С. 16 – 23.
33. Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов: Учебник для вузов. - М.: Наука, 1986. - 512 с.
34. Голуб М.В. Износостойкие композиционные материалы на основе карбида вольфрама, меди и никеля. - Долговечность трущихся деталей машин. - М.: Машиностроение, 1985, вып. 1. - С. 217-234.
35. Голуб В. М., Плещачевский Ю.М. Износостойкие покрытия рабочих поверхностей колец пар трения торцовых уплотнений на основе разнозернистых порошков карбида вольфрама. // Материалы, технологии, инструменты, Т.6, №4, 2001. - С. 29-32.
36. Голуб М.В., Голуб В.М., Шаповал Ф.И. Методики оценки влияния температур уплотняемой среды на триботехнические характеристики.
37. Муслимов А.Ш., Голуб М.В., Харламенко В.И. и др. Применение износостойких композиционных материалов в узлах трения центробежных насосов. // Применение избирательного переноса в узлах трения машин, часть 1.-М., 1976. - С. 171-179.

Статья поступила в редакцию 18.10.2007

УДК 621.9.02.048

Клубович В.В., Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл., Рубаник О.Е.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ В TiNi ВОЛНОВОДАХ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Введение. Материалы и сплавы с памятью формы (СПФ) привлекают все большее внимание с момента обнаружения и первой публикации об эффекте памяти формы Чангом и Ридом в 1951 году [1]. Эти материалы обладают чрезвычайно большими восстанавливаемыми деформациями (порядка 10 %) неупругой природы. Удивительная способность полностью возвращать большие деформации – результат термоупругого фазового превращения низкотемпературной мартенситной в высокотемпературную аустенитную фазу. Именно это свойство позволяет использовать СПФ во многих инновационных технических решениях [2]. В настоящее время СПФ применяют в качестве силовых приводов, материала для вживляемых стержней Харрингтона для коррекции сколиоза, ортодонтических дуг, способных к поддержанию постоянного уровня нагрузки даже после больших деформаций, композитных систем с интегрированными волокнами, исполняющими функции привода датчиков в специальных сложных системах для активного управления динамическим и структурным поведением.

Ультразвуковое воздействие на металлы и сплавы в большинстве случаев вызывает неравномерный разогрев материала [3], температура может достигать даже точки плавления [4]. В первую очередь процесс нагрева связан с демпфирующими свойствами материала, мощностью вводимых ультразвуковых колебаний (УЗК). Так, при воздействии УЗК в течение 20 секунд образцы из стали, меди, латуни нагреваются на 100±200 К, алюминиевые образцы – всего на 5+10 К в узлах смещений [5]. Максимум температуры при этом приходится на пучности механических напряжений. В нерезонансных образцах разогрев наблюдается в месте его крепления к концентратору.

Учитывая, что в сплавах с эффектом памяти формы при реализации термоупругого фазового перехода происходит максимальное проявление демпфирующих свойств [6], следует ожидать максимального поглощения энергии акустических колебаний в температурном интервале превращения. В этой связи целью настоящей работы является исследование кинетики разогрева и распределения температуры по длине TiNi волновода в процессе ультразвукового воздействия.

Методика и результаты исследований. Исследования проводили с помощью тепловизора Thermo Tracer TN9100, представляющего собой бесконтактную высокочувствительную инфракрасную камеру. Спектральный диапазон измерений составлял от 8 до 14 мкм. Для возбуждения в образцах УЗК использовали ультразвуковой генератор с автоматической подстройкой резонансной частоты УЗГ4-У-44 с пьезокерамическим преобразователем, разработанный и изготовленный в БГУИР. Полоса рабочих частот генератора 40...50кГц; диапазон удержания частоты системой ±2кГц; максимальная выходная электрическая мощность 100 Вт.

Генератор имеет встроенную систему автоматического поддержания резонансной частоты, благодаря которой обеспечивалась работа излучателя в резонансном режиме даже при значительном изменении параметров нагрузки и собственной резонансной частоты присоединенных волноводов. Цилиндрический образец (волновод) диаметром 10 мм и длиной 80 мм крепился к концентратору с помощью резьбового соединения. Частота возбуждаемых колебаний непрерывно фиксировалась частотомером ЧЗ-33 и бесконтактным вибротроном БВУ-3М. Тепловизионная камера располагалась на расстоянии 30 см от волновода так, что позволяла наблюдать на мониторе весь образец и конец ультразвукового концентратора.

Тепловизионное исследование ультразвукового разогрева TiNi волноводов показало, что в образцах резонансной длины в процессе воздействия ультразвука максимальный нагрев наблюдается в узлах смещений и минимальный – в пучностях смещений механических колебаний (рис. 1). Перепад температуры по длине образца в процессе его нагрева за счет поглощения энергии УЗК составляет до 20°C. В аустенитном состоянии УЗК не вызывали дальнейшего разогрева волновода и распределение температур вдоль образца стабилизируется, что обусловлено более низким уровнем внутреннего трения, характерного для TiNi в аустенитном состоянии по сравнению с мартенситным и двухфазным. Диссипация акустической энергии в аустенитном состоянии практически не происходит. Однако с течением времени неоднородность распределения температуры по длине образца сохраняется. На гистограмме распределения температуры по поверхности образца (рис. 2) наблюдается два явно выраженных пика, которые сохраняются в процессе ультразвукового разогрева.

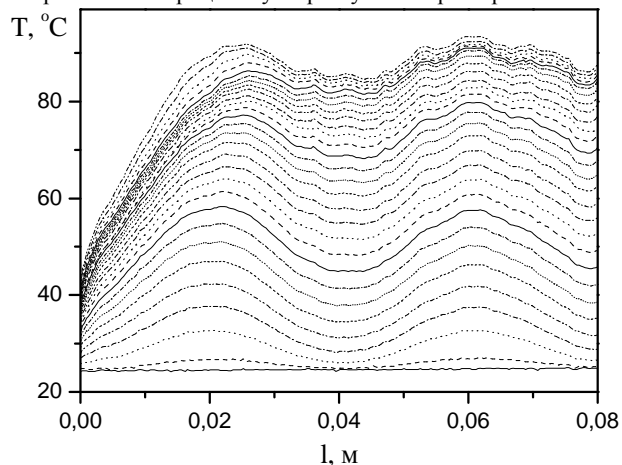


Рис. 1. Профили распределения температуры по образцу с интервалом в 5 с при ультразвуковом нагреве

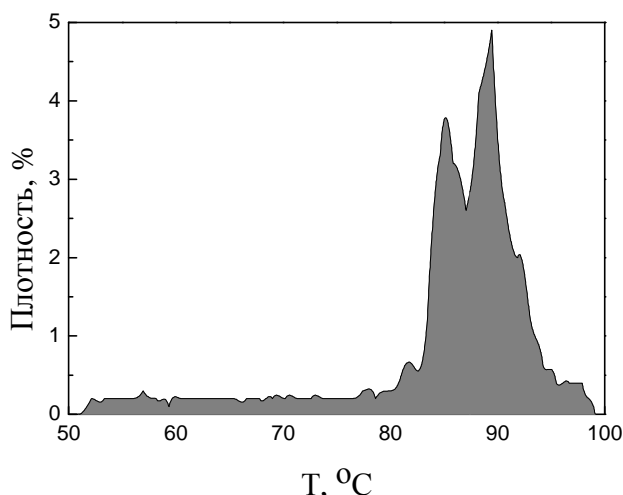


Рис. 2. Гистограмма распределения температуры по поверхности образца после 140 с озвучивания

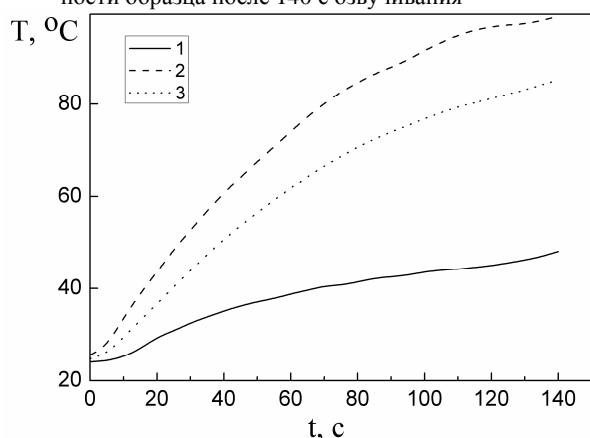


Рис. 3. Температура волновода (1 – минимальная, 2 – максимальная, 3 – средняя) в зависимости от времени действия ультразвука

Анализ профилей распределения температуры по образцу при ультразвуковом нагреве указывает на то, что происходит смещение точки, соответствующей первому максимуму температуры (рис.1). Подобное поведение первого максимума предполагалось в работе [7] при моделировании процессов тепловыделения. Для TiNi образца волновой длины это смещение составляет 6 мм и связывается с изменением «резонансных» размеров волновода вследствие происходящих в нем термоупругих превращений.

УДК 539.3

Веремейчик А.И.

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПЛОСКИХ НЕСВЯЗАННЫХ ЗАДАЧ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕРМОУПРУГОСТИ ИЗОТРОПНЫХ ТЕЛ

Введение. Независимо от того, насколько мощным является численный метод, его потенциальные возможности могут быть реализованы полностью только в том случае, когда он хорошо запрограммирован. В этом отношении метод граничных элементов (МГЭ) требует несколько больших усилий от программиста и меньших от будущего пользователя, чем метод конечных элементов [1]. Первые созданные на базе МГЭ компьютерные программы были неэффективными потому, что занимающиеся их составлением специалисты относились к ним лишь как к промежуточным этапам исследова-

ния самих методов. Уже в настоящее время дальнейшее развитие МГЭ за рубежом приводит к появлению программ, сопоставимых с такими хорошо известными пакетами программ МКЭ, как NASTRAN, ANSYS, ASKA, MARC и др.

В процессе ультразвукового воздействия в TiNi происходят фазовые изменения, изменяются физические и механические свойства, определяющие скорость распространения упругих волн. Ультразвуковое инициирование эффекта памяти формы в никелиде титана сопровождается изменением скорости разогрева материала (рис. 3), что вызвано реализацией термоупругого фазового перехода 1 рода в материале.

Выводы

- исследована кинематика разогрева и распределения температуры по длине волновода Ti Ni при ультразвуковом воздействии;
- установлено, что смещение точки первоначальной температуры для никелидо-титанового образца составляет мм, и оно происходит в связи с «резонансными» размерами волновода;
- при ультразвуковом воздействии в Ti Ni происходят фазовые превращения и изменяются физико-механические свойства;
- установлено, что ультразвуковое инициирование эффекта памяти формы в образце Ti Ni сопровождается изменением скорости разогрева материала.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Chang L.C., Read T.A. Behavior of the elastic properties of AuCd // Trans. Met. Soc. AIME.– 1951.– Vol. 191.– P. 47.
2. Материалы с эффектом памяти формы: Справ изд.: В 4 т. / Под ред. В.А.Лихачева.– СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 1998.– Т. 4.– 1998.– 268 с.
3. Кулемин А.В. Ультразвук и диффузия в металлах.– М.: Металлургия, 1978.– 200 с.
4. Балалаев Ю.Ф., Бокштейн С.З. Ультразвуковой высокотемпературный нагрев и его применение для термической обработки при исследованиях металлов и сплавов // ФММ.– 1963.– Т. 16, вып. 6.– С. 872–876.
5. Thermographic investigation of high-power ultrasonic heating in materials / R.V.Mignogna, R.E.Green, Jr., J.C.Duke, Jr. et al. // J. Ultrasonic. – 1981.– № 7.– P. 159–163.
6. Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. – 216 с.
7. Рубаник В.В., Шадурский А.А., Рубаник В.В. Моделирование процессов тепловыделения в TiNi сплавах при ультразвуковом воздействии // XVII Петербургские чтения по проблемам прочности: сб. матер. конфер., 10-12 апреля 2007, С-Петербург, ч.2.– С.283-285.

Статья поступила в редакцию 29.10.2007

В данной работе рассматриваются основные особенности развития МГЭ для решения двумерных несвязанных задач нестационарной термоупругости изотропных тел и этапы численной реализации данной задачи.

1. Этапы численной реализации МГЭ