

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УО «Витебский государственный технологический университет»

УДК 66.084:536.424.1

№ ГР 20064372

Инв. № \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе УО «ВГТУ»



"16" 12 2006 г.

**ОТЧЕТ**

о научно-исследовательской работе  
по заданию ГПОФИ «Высокоэнергетические, ядерные и радиационные технологии 3.17»

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКИ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ ПРИ ТЕРМОУПРУГИХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ, ИНИЦИИРОВАННЫХ МОЩНЫМ АКУСТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ»**

(промежуточный за 2006 г.)

2006-г/б-346

Научный руководитель  
к.ф.-м.н.

В.В. Рубаник

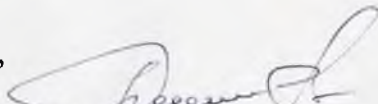
Начальник НИС УО «ВГТУ»

С.А. Беликов

Витебск 2006

## Список исполнителей

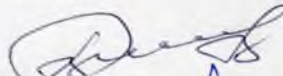
Руководитель темы,  
к.ф.-м.н.

  
26.12.2006<sub>2</sub>

В.В. Рубаник мл. (Общее руководство работами)

Исполнители:

д.т.н.

  
26.12.2006<sub>2</sub>

В.В. Рубаник (П.п. 1, 2, 3, 4, 5)

доц.

26.12.2006<sub>2</sub>

А.А. Пиотух (Руковод техн. мей-ра)

ст. препод.

26.12.2006

А.Н. Степанов (Руковод научным отделом)

м.н.с.

26.12.2006

О.Н. Махановская (Участие в подготовке тезисов)

аспирант

26.12.2006

О.Е. Рубаник (П.п. 3 - разработка эскизов, изготовление, оформление чертежей)

аспирант

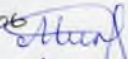
26.12.2006



А.В. Шадурский (П.п. 5 - изготовление)

аспирант

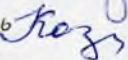
26.12.2006



С.Н. Милюкина (П.п. 2 - обработка литейных док анамнеза)

студент

26.12.2006



А.О. Казей (Участие в проведении испытаний)

нормоконтроль

26.12.2006



А.Д. Шилин

## Реферат

Отчет 30 с., 8 рис., 34 источника.

ПАМЯТЬ ФОРМЫ, УЛЬТРАЗВУК, ЭНЕРГИЯ, НАПРЯЖЕНИЕ, ФАЗОВОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ, ДЕФОРМАЦИЯ.

Объектом исследования являются сплавы никелида титана эквиаомного состава, обладающие эффектом памяти формы.

Цель работы – установление закономерностей протекания термоупругих фазовых превращений, инициированных мощным ультразвуковым воздействием.

Отработаны методики ультразвукового инициирования термоупругих фазовых превращений: для образцов в свободном состоянии, под постоянной статической внешней нагрузкой, при постоянной деформации в процессе озвучивания. В рамках разработки физической модели исследуемого процесса проведено предварительное математическое моделирование процесса переноса ультразвуковой энергии в сплавах с эффектом памяти формы.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки исполнительных ультразвуковых устройств нового типа, для которых требуется односторонний доступ к рабочему телу из материала с памятью формы.

## Содержание

|  | стр. |
|--|------|
| Введение   | 5    |
| 1 Анализ научной литературы по тематике НИР  | 6    |
| 2 Отработка методик исследований фазовых превращений в сплавах, обладающих эффектом памяти формы, методами дифференциальной сканирующей калориметрии | 11   |
| 3 Экспериментальная установка по ультразвуковому инициированию ЭПФ   | 15   |
| 4 Методики измерения акустических параметров резонансных образцов материалов с памятью формы   | 20   |
| 5 Моделирование процесса теплопереноса в материалах с ЭПФ при ультразвуковом разогреве   | 22   |
| Заключение   | 26   |
| Список использованных источников   | 27   |

## Список использованных источников

- 1 Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. - 216 с.
- 2 Сплавы с памятью формы на основе никелида титана. Фаткулина Л.П. - Технология легких сплавов, 1990, № 4. – С. 9.
- 3 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.
- 4 Влияние ультразвуковых колебаний на процесс псевдоупругого деформирования монокристаллов Cu-Al-Ni / К.В.Сапожников, С.Б.Кустов, В.В.Ветров, С.А.Пульнев // Изв. РАН. Сер. Физ.—1997.—Т.61, № 2.—С.249–256.
- 5 Постников В.С. Внутреннее трение в металлах.— М.: Изд-во Металлургия, 1969.— 332 с.
- 6 Кулемин А.В. Ультразвук и диффузия в металлах.— М.: Металлургия, 1978.— 200 с.
- 7 Балалаев Ю.Ф., Постников В.С. Об ультразвуковом нагреве металлов //Физика и химия обработки материалов.— 1968.— № 2.— С. 117–119.
- 8 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.
- 9 Балалаев Ю.Ф. Зависимость структуры технического железа от ультразвукового высокотемпературного нагрева // МиТОМ.— 1964.— Т № 1.— С. 48–49.
- 10 Балалаев Ю.Ф., Бокштейн С.З. Поведение границ зерен в железе при ультразвуковом высокотемпературном нагреве // Процессы диффузии, структура и свойства металлов: Сб.ст.— М.: Машиностр., 1964.—С.113–116.

11 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.

12 Связь физических свойств и структурных состояний, возникающих при термомеханической обработке в сплавах TiNi / В.М.Ермаков, В.И.Коломыцев, В.А.Лободюк, Л.Г.Хандрос // Металлофизика.– 1982.– Т. 4, № 6.– С. 23–30.

13 Эффект памяти формы в сплавах / Пер. с англ. под ред. В.А. Займовского.– М., 1979.– 472с.

14 Calorimetric study of a diffusionless phase transition in TiNi / D.P.Dautovich, Z.Melkvi, G.R.Purdy, C.V.Stager // J. Appl. Phys.– 1966.– Vol. 37, № 6.– P. 2513–2514.

15 Standard test method for transformation temperature of nickel- titanium alloys by thermal analysis, ASTM F2004-00 Standard, 2001.

16 Alliages à mémoire de forme, Norme française NF A51-080, 1991.

17 Рубаник В.В.(мл.), Клубович В.В., Рубаник В.В., Петров И.В. Получение соединений металл-сплав с ЭПФ с помощью высокоскоростного деформирования // XVI Петербургские чтения по проблемам прочности: Сб. тез. 14-16 марта 2006 г.- СПб., 2006.- С. 277.

18 Рубаник В.В., Клубович В.В., Реснина Н.Н., Рубаник О.Е., Андреев В.А., Милюкина С.Н., Рубаник В.В. мл. Функциональные свойства TiNi сплава после высокоскоростного деформирования // Фазовые превращения и прочность кристаллов: Тез. докл. Четвёртой междунар. конф. – Черноголовка, 2006. – С. 162-163.

19 Милюкина С.Н. Исследование термоупругих фазовых переходов методом дифференциальной сканирующей калориметрии // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы 3 Гомельской региональной конф. молодых ученых // ИММС НАН Беларуси. - Гомель, 2006. – С. 61-62.

20 V.G. Dorodeiko, V.V. Rubanik, V.V. Rubanik Jr., and S.N. Miljukina. Making intrauterine contraceptives from TiNi alloys // 7<sup>th</sup> European Symposium on Martensitic Transformations ESOMAT 2006: Abstracts. – Bochum/Germany, 2006. – P. 312.

21 Рубаник В.В., Дородейко В.Г., Рубаник В.В.(мл.), Милюкина С.Н. Термообработка TiNi проволоки для контрацептивов // Фазовые превращения и прочность кристаллов: Тез. докл. Четвёртой междунар. конф. – Черноголовка, 2006. – С. 161-162.

22 Salzbrenner R.J. and Cohen M. On the thermodynamics of thermoelastic martensitic transformations, Acta. Metall, 1979, v.27, pp.739-748.

23 McCormick P.G. and Liu Y. Thermodynamic analysis of the martensitic transformation in NiTi-II, Effect of transformation cycling. Acta Met. et Mater, 1994, v.42, no.7, pp. 2407-2413.

24 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.

25 Рубаник В.В., Рубаник В.В. (мл.) Ультразвуковое инициирование термоупругих фазовых превращений // Материалы XVIII Сессии Российского акустического общества, 11-15 сент. 2006 г. Таганрог. – Изд-во «ГЕОС», М., т.2, стр. 118-122.

26 Клубович В.В., Рубаник В.В. (мл.) Формовосстановление в материалах с термоупругим фазовым превращением // Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения. Междун. сб. научн. тр. под ред. Н.Н. Огаркова, Магнитогорск, 2006, стр. 10-12.

27 V.V.Rubanik Jr., V.V.Rubanik, V.V.Klubovich Realization of SME at ultrasonic heating // 7<sup>th</sup> European Symp. on Martensitic Transformations ESOMAT 2006: Abstracts. – Bochum/Germany, Sept/ 10-15, 2006. –P. 313

28 Рубаник О.Е. Тепловизионные исследования эффекта памяти формы инициированного ультразвуковым воздействием // XXXIX научно-

техническая конференция преподавателей и студентов университета: Тез. докл. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2006. – С. 67.

29 Бегунов М.А., Рубаник В.В. (мл.), Мясоедов А.В. Автоматизированная система регистрации контроля параметров формовосстановления сплавов с памятью формы // XXXV науч.-техн. конф. препод. и студ.: Тез. докл. / УО «ВГТУ».— Витебск, 2002.— С. 26-27.

30 Северденко В.П., Клубович В.В., Степаненко А.В. Ультразвук и пластичность.— Мн.: Наука и техника, 1976.— 446 с.

31 Теумин И.И. Ультразвуковые колебательные системы.— М.: Машгиз, 1962.— 302 с.

32 Гершгал Д.А., Фридман В.М. Ультразвуковая технологическая аппаратура.— М.: Энергия, 1976.— 319 с.

33 Колтович В.А. Разработка ультразвуковой технологии и оборудования для изготовления прецизионных металлических лент, применяемых в электронной технике: Дис. ...канд. техн. наук: 05.27.07.— Минск, 1998.— 159 с.

34 Рубаник В.В., Рубаник В.В., Шадурский А.А. Процесс теплопереноса в никелиде титана при ультразвуковом воздействии // Актуальные проблемы прочности: Тез. докл. 45 междун. конф. Белгород, 25-28 сент. 2006.-С.162.