

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УО «Витебский государственный технологический университет»

669
УДК 621.9.048.6

№ ГР 20064373 от 16.11.2006

Инв. № _____

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной работе УО «ВГТУ»



ОТЧЕТ

о научно-исследовательской работе
по заданию ГППНИ «1.02. Материалы в технике»

**«РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ПРОЦЕССА
ВОЛОЧЕНИЯ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СПЛАВОВ С
ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ»**

(заключительный)

2009-г/б-350

Научный руководитель
д.т.н.

A handwritten signature in black ink, dated "15.12.2009.", is written over the stamp area.

В.В. Рубаник

Начальник НИС УО «ВГТУ»

A handwritten signature in blue ink, dated "15.12.09.", is written below the first signature.

С.А. Беликов

Витебск 2009

Список исполнителей

Руководитель темы,
д.т.н.

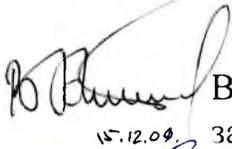


15.12.09.

В.В. Рубаник (общее руководство
глава 1-6)

Исполнители:

академик НАН Беларуси,
д.т.н., профессор



15.12.09.

В.В. Клубович (введение, глава 1,
заключение)

к.ф.-м.н.



15.12.09.

В.В. Рубаник мл. (глава 2-5)

аспирант



15.12.09

С.Н. Милюкина (глава 3,5)

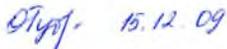
аспирант



15.12.09

А.В. Шадурский (глава 4)

аспирант



15.12.09

О.Е. Рубаник (глава 4)

аспирант



В.Н. Кузнецов (раздел 3.2)

нормоконтроль



15.12.09

О.Н. Махановская



Реферат

Отчет 78 с., 44 рис., 3 табл., 48 источников.

ПАМЯТЬ ФОРМЫ, УЛЬТРАЗВУК, ВОЛОЧЕНИЕ, ТЕРМОУПРУГОЕ ФАЗОВОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ, ТЕРМООБРАБОТКА.

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

Цель работы – установление основных закономерностей процесса волочения и термомеханической обработки сплавов с памятью формы при ультразвуковом воздействии.

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии исследованы фазовые переходы в проволоке TiNi после волочения и последующего отжига. С целью сохранения термомеханических свойств TiNi проволоки оптимизированы режимы отжига. Показано, что независимо от способов волочения за счет выбора режима в результате отжига возможно обеспечить восстановление термомеханических свойств сплава соответствующих свойствам исходного материала. Проведен сопоставительный анализ температур фазовых превращений TiNi проволоки разных производителей для изготовления изделий медицинского назначения, в частности, контрацептивов и ортодонтических дуг. Определены оптимальные режимы термообработки TiNi проволоки с целью задания необходимой формы.

Проведены тепловизионные исследования процесса волочения TiNi проволоки. Установлено, что температура заготовки на выходе из зоны деформации зависит от режима волочения и может достигать 100°C.

Результаты исследований могут найти применение при изготовлении конкретных изделий медицинского назначения (внутриматочные контрацептивы, стоматологические дуги и др.) и технических изделий из TiNi сплавов, а так же в процессах обработки металлов давлением.

Содержание	стр.
Введение	5
1 Методы определения функциональных свойств сплавов с эффектом памяти формы	6
2 Материалы и методика исследования	14
2.1 Определение функциональных свойств методами дифференциальной сканирующей калориметрии	14
2.1.1 Методика определения характеристических температур (TiNi) с помощью DSC	14
2.1.2 Методика определения скрытой теплоты фазовых превращений (TiNi)	19
2.2 Методика проведения экспериментов по закреплению формы термомеханическим методом (схема изгиба)	21
2.3 Методика тепловизионных исследований при волочении	22
3 Исследование функциональных свойств TiNi после волочения и термообработки	24
3.1 Исследование методом DSC-анализа температур и скрытой теплоты фазовых превращений TiNi проволоки после волочения	24
3.2 Исследование методом ДСК фазовых переходов в проволоке TiNi после волочения и отжига	27
3.3 Исследование влияния времени и режима тепловой обработки на температуру окончания обратного фазового превращения TiNi	32
3.4 Исследование сверхупругих свойств TiNi проволоки в зависимости от режимов тепловой обработки	34
3.5 Определение оптимальных режимов термообработки на закрепление (задание) формы TiNi изделий	40
4 Тепловизионные исследования процесса волочения TiNi проволоки	44
4.1 Исследование влияния степени единичных деформаций на тепловыделение в проволоке TiNi	44
4.2 Исследование процесса тепловыделения в волноводной системе при волочении	50
5 Технологические приемы получения заготовок стоматологических дуг	54
5.1 Входной калориметрический контроль функциональных свойств полуфабрикатов из проволоки TiNi медицинского назначения	54
5.2 Промежуточная термообработка проволоки на конечный диаметр стоматологических дуг	60
5.3 Корректировка функциональных свойств заготовок стоматологических дуг TiNi методом низкотемпературной выдержки	64
5.4 Контроль рабочих характеристик заготовок стоматологических дуг	66
6 Рекомендации по практическому использованию результатов исследований	69
Заключение	70
Список использованных источников	72

Список использованных источников

- 1 Лихачев, В.А. Эффект памяти формы. / В.А.Лихачев, С.Л.Кузьмин, З.П.Каменцева // Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. - 216 с.
- 2 Ооцука, К. Сплавы с эффектом памяти формы / К.Ооцука, К.Сумидзу, Ю.Судзуки и др. // Под ред. Фунакубо Х.: Пер. с японск.- М.: Металлургия, 1990.- 224с.
- 3 Материалы с эффектом памяти формы: Справ. изд. / Под ред. Лихачева В.А. В 4 т. – СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 1998. – Т.2. – С. 327-328.
- 4 Фаткулина, Л.П. Сплавы с памятью формы на основе никелида титана / Л.П. Фаткулина // Технология легких сплавов, 1990. – № 4. – С. 9.
- 5 Щукин, С.В. Условия потери памяти формы никелида-титана при пластической деформации / С.В.Щукин, Н.Г.Колбасников, С.Ю.Кондратьев и др. // В сб.: Функционально-механические свойства сплавов с мартенситным механизмом неупругости. - Ухта, 1992. - С.19.
- 6 Лотков, А.И. Никелид титана. Кристаллическая структура и фазовые превращения / А.И.Лотков, В.Н.Гришков // Изв. Вузов. Физика, 1985, т. 27, № 6.–С.68-87.
- 7 Рубаник, В.В. Инициирование эффекта памяти формы в сплавах Ti-Ni под действием ультразвуковых колебаний: Дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.07 / Белорусский гос. ун-т.— Минск., 2005.— 132 с.
- 8 Определение температур мартенситных превращений в сплавах типа TiNi методом измерения деформации при малых нагрузках: Методическая рекомендация / ВИЛС.; Сост. С.В.Олейникова, С.Я.Петров.–ВИЛС, 1987.– 19 с.
- 9 Евард, М.Е. Мартенситные превращения в сплаве TiNi при охлаждении под нагрузкой / М.Е.Евард, С.А.Егоров, Н.Н.Реснина // Физика процессов деформации и разрушения и прогнозирование механического поведения материалов: Тр. XXXVI Междунар. семинара «Актуальные проблемы прочности», Витебск, 26-29 сент. 2000 г.: В 2 ч.- Витебск, 2000.- Ч. 2.- С. 496-499.

10 Егоров, С.А. О механизмах деформирования сплава TiNi при охлаждении под нагрузкой / С.А.Егоров, М.Е.Евард, Н.Н.Реснина, О.В.Сидорова // Сплавы с эффектом памяти формы и другие перспективные материалы: Тр. XXXVIII Междунар. семинара «Актуальные проблемы прочности», С.Петербург, 24-27 сент. 2001 г.: В 2 ч.— С.Пб., 2001.— Ч. 1.— С. 253-256.

11 Dautovich, D.P. 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.

12 Mañosa, L.I. Intrinsic ultrasonic attenuation during the martensitic transformation of Cu-Zn-Al / L.I.Mañosa, J.L.Macqueron, J.C.Baboux // Journal of Physics: Condensed Matter, 1991, v.3, pp. 6257-6266.

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

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

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

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

17 Милюкина, С.Н. Влияние режимов термической обработки на сверхупругие свойства никелида титана / С.Н.Милюкина, // XXXIX научно-

техническая конференция преподавателей и студентов университета: Тез. докл.: УО «ВГТУ». – Витебск, 2006. – С. 67-68.

18 Милюкина, С.Н. Перспективы применения термомеханических соединений на основе никелида титана (TiNi) / С.Н.Милюкина // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы респ. науч.-техн. конф. – Могилёв, 2006. – С. 58.

19 Рубаник, В.В. Некоторые особенности волочения титан-никелевой проволоки с наложением продольных ультразвуковых колебаний / В.В. Рубаник, В.Г.Дородейко, В.В.Рубаник, Ю.В.Царенко // 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. 76-77.

20 Рубаник, В.В. Влияние ультразвука на деформационное поведение TiNi сплавов / В.В.Рубаник, В.В.Рубаник (мл.) // Особенности структуры и свойств перспективных материалов / Под общ. ред. А.И. Потекаева. – Томск, Изд-во НТЛ, 2006. – Гл. 12. – С. 219-240.

21 Рубаник, В.В. Влияние ультразвуковых колебаний на процесс волочения и механические свойства TiNi-проволоки / В.В.Клубович, В.В.Рубаник, В.В.Рубаник (мл.) // Процессы и оборудование металлургического производства: межрег. сб. науч. тр. / Под ред. О.С.Железкова.– Магнитогорск, 2006.– С. 166-172.

22 Рубаник, В.В. Особенности волочения TiNi проволоки / В.В.Рубаник, В.В.Рубаник, С.Н.Милюкина, В.Н.Кузнецов // Сборник материалов XIX Уральской школы металловедов-термистов «Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов» 4-8 февраля 2008 г. Екатеринбург, РФ. – С. 233-235

23 Милюкина, С.Н. Влияние режимов термообработки на функциональные свойства проволоки никелида титана для внутриматочных контрацептивов / С.Н.Милюкина, В.В.Рубаник мл., В.В.Рубаник, В.Г.Дородейко // XVII

Петербургские чтения по проблемам прочности: сб. матер. конф.: в 2-х ч., 10-12 апреля 2007 г., Санкт-Петербург.- Санкт-Петербург, 2007.– Ч.2.–С.286-287.

24 Милюкина, С.Н. Влияние времени и температуры тепловой обработки на функциональные свойства проволоки никелида титана для медицинского применения / С.Н.Милюкина, В.В.Рубаник (мл.), В.В.Рубаник, В.Г. Дороейко // XLVI междунар. конф. «Актуальные проблемы прочности»: материалы конф.: в 2-х ч., 15-17 октября 2007 г., Витебск. – Витебск, 2007. – Ч.1. – С. 321-323.

25 Dorodeiko, V.G. Heat treatment of TiNi wire used for intrauterine contraceptives / V.G.Dorodeiko, V.V.Rubanik, V.V.Rubanik Jr., S.N.Miliukina // Materials Science and Engineering A 481-482, 2008. – P. 616–619.

26 Рубаник, В.В. Оптимизация режимов термообработки TiNi проволоки медицинского назначения / В.В.Рубаник, С.Н.Милюкина, В.В.Рубаник // Сборник докладов 8-й международной конференции «Авангардные машиностроительные технологии», Болгария, 18-20 июня 2008 г. – С. 199-209.

27 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.

28 Miliukina, S.N. Effect of the heat treatment on the pseudoelastic properties of TiNi wire for medical application / S.N. Miliukina, V.V. Rubanik Jr., V.V. Rubanik, V.G. Dorodeiko // European Materials Research Society E-MRS Fall Meeting: abstracts / Warsaw University of Technology, 17-21 September, 2007, Warsaw, Poland. – Warsaw, 2007. – P.152-153.

29 Милюкина, С.Н. Термообработка TiNi проволоки для внутриматочных контрацептивов / С.Н. Милюкина, В.В. Рубаник мл., В.В. Рубаник // Междунар. НТК «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии»: сборник тез. конф., 19-20 апр. 2007 г., Могилев.– Могилёв, 2007.–С.46.

30 Милюкина, С.Н. Влияние режимов термообработки на функциональные свойства TiNi проволоки / С.Н. Милюкина // XL научно-техническая конференция преподавателей и студентов университета: тез. докл. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2007. – С. 169.

31 Miliukina, S.N. Time effect of the heat treatment on the functional properties of TiNi wire for intrauterine contraceptives / S.N. Miliukina, V.V. Rubanik Jr., V.V. Rubanik, V.G. Dorodeiko // European Congress on Advanced Materials and Processes EUROMAT 2007, 10 – 13 September 2007, Nürnberg, Germany. – Nürnberg, 2007. – P.97.

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

33 Внутриматочное противозачаточное устройство: пат. Рэсп. Беларусь, МПК А61F6/14 / С.Н.Милюкина, В.В.Рубаник (мл.), В.В.Рубаник, В.Г. Дородейко, А.Ю.Журавлёв; заявители: «Инст. техн. акустики НАН Беларуси», ЗАО «Мед. предпр. Симург». – № u 20070484; заявл. 2007.07.04. – 2007.

34 Северденко, В.П. Ультразвук и пластичность / В.П.Северденко, В.В.Клубович, А.В.Степаненко // Мн.: Наука и техника, 1976.– 446 с.

35 Rubanik Jr., V.V. The influence of ultrasound on shape memory behavior / V.V.Rubanik Jr., V.V.Rubanik, V.V.Klubovich // Materials Science and Engineering A 481-482, 2008. – P. 620–622.

36 Rubanik, V.V. Shape memory effect due to ultrasound induced martensitic transformation in smart alloys / V.V.Rubanik, V.V.Klubovich, V.V.Rubanik Jr. // 4 международная конференция «Material science and condensed matter physics»: тезисы. 23-26 сентября 2008 г. Кишинев, Молдова.- С.250.

37 Рубаник, В.В. Ультразвуковой нагрев волноводов из никелида титана / В.В.Рубаник, В.В.Клубович, В.В.Рубаник мл., В.А.Андреев, О.Е.Рубаник // Актуальные проблемы прочности: XLVI Междунар. научная конфер.

Н.Новгород, 1-5 июля 2008 г. ч.1, стр.316-319.

38 Brailovski V. Shape memory alloys: fundamentals, modeling and applications / Brailovski V., Prokoshkin S., Terrault P., Trochu F.,Eds.// Montreal: ETS Publ.–2003.– 851 p.

39 Lotkov A.I., Grishkov V.N., Udovenko V.A. and Kuznetsov A.V., Influence of low-temperature annealing on a starting temperature of martensitic transformation in Titanium Nikelide, Fizika metallov i metallovedenie, 1982, v.54, no.6, pp. 1202-1204.

40 K.N. Molton, Engineering Aspects of Shape Memory Alloys. T.W. Duerig et al., Ed, Butterworth-Heinemann, 1990. p 10.

41 Отчёт о научно-исследовательской работе по заданию ГППНИ «1.02. Материалы в технике» -- «Развитие методов и технологических основ процесса волочения и термомеханической обработки сплавов с памятью формы при ультразвуковом воздействии» за 2006 г. / ГНУ «ИТА НАН Беларуси» -- 2006.

42 Пушин В.Г., Кондратьев В.В., Хачин В.Н. Предпереходные явления и мартенситные превращения // Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 368 с

43 Пушин В.Г., Л.И. Юрченко, Н.Н. Куранова Сплавы с памятью формы. Структура, фазовые превращения, свойства, применение //Фазовые и структурные превращения в сталях: Сб. научных тр., вып. 1, 2000. – С. 135-191.

44 E.P.Ryklina, I.Yu. Khmelevskaya, S.D. Prokoshkin, K.E. Inaekyan, R.V. Ipatkin. Effects of Strain Aging on Two-Way Shape Memory Effect in Nickel-Titanium Alloy for Medical Application // Materials Science and Engineering. – 2006. –V.A 438–440. –P.1093–1096.

45 Duerig T.W. and Pelton A.R. Ti-Ni shape memory alloys // Material Properties Handbook: Titanium Alloys, G.W.R. Boyer and E.W. Collings, Eds. Material Park, OH: American Society for Metals, 1994. – P. 1035-1048.

46 Brailovski, I.Yu. Khmelevskaya, S.D. Prokoshkin et al. Foundations of heat and thermomechanical treatments and their effects on the structure and proper-

ties of titanium nickelide-based alloys. Phys.Met.Metallogr., 2004, v.97, Suppl. 1, p.3-55.

47 Рубаник В.В., Рубаник В.В.(мл.), Кузнецов В.Н., Милюкина С.Н., Дородейко В.Г. Термомеханическая обработка проволоки Ti-50,8ат.%Ni. Международный симпозиум «Перспективные материалы и технологии», Витебск, 25-29 мая 2009 г.: сборник тезисов / УО «ВГТУ»; гл.ред. В.В.Рубаник. – Витебск, 2009. – с.205.

48 Рубаник В.В., Рубаник В.В.(мл.), Милюкина С.Н. Задание формы в TiNi проволоке низкотемпературной обработкой. Международный симпозиум «Перспективные материалы и технологии», Витебск, 25-29 мая 2009 г.: сборник тезисов / УО «ВГТУ»; гл.ред. В.В.Рубаник. – Витебск, 2009. – с.204.

