

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Витебский государственный технологический университет (УО «ВГТУ»)

669.24+

УДК 539.216.2

№ ГР 20115350 от 19.12.2011

Инв. № _____



Е.В. Ванкевич

20/3 г.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ И
ОБРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С
ТЕРМОУПРУГИМИ ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ
(заключительный)

г/б № 386

Научный руководитель
к.ф.-м.н.

16.12.2013 В.В. Рубаник

Начальник НИЧ УО «ВГТУ»

30.12.2013 С.А. Беликов

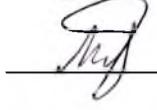
Витебск 2013

Список исполнителей

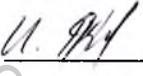
Руководитель темы, к.ф.-м.н.  В.В. Рубаник
16.12.2013 (общее руководство, введение, разделы 1-12, заключение)

Исполнители темы:

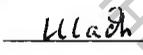
г.н.с.  16.12.2013 В.В. Рубаник (разделы 1-12)

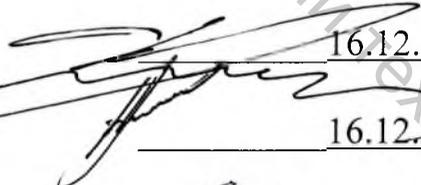
м.н.с.  16.12.2013 С.Н. Милюкина (разделы 1-10)

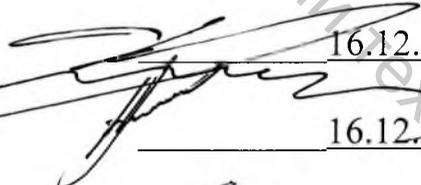
с.н.с.  16.12.2013 М.А. Леванцевич (участие в проведении экспериментов)

с.н.с.  16.12.2013 И.В. Петров (раздел 9)

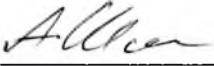
с.н.с.  16.12.2013 А.Д. Шилин (раздел 11, 12)

м.н.с.  16.12.2013 А.В. Шадурский (раздел 11)

инженер  16.12.2013 С.О. Королев (раздел 11)

инженер  16.12.2013 В.Ю. Новиков (раздел 10)

лаборант  16.12.2013 А.Б. Чернова (обработка результатов эксперимента)

Нормоконтролер  16.12.2013 А.Д. Шилин

Реферат

Отчет 94 с., 64 рис., 1 табл., 41 источник.

ПАМЯТЬ ФОРМЫ, ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ СКАНИРУЮЩАЯ КАЛОРИМЕТРИЯ, ТЕРМОУПРУГОЕ ФАЗОВОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ, ТЕРМООБРАБОТКА

Объектом исследования являются функциональные материалы, претерпевающих термоупругие фазовые превращения, на основе никелида титана.

Цель работы – установление закономерностей получения и обработки интеллектуальных материалов, претерпевающих термоупругие фазовые превращения, на основе никелида титана.

В соответствии с поставленной целью решались следующие основные задачи: изучение свойств покрытий и тонких пленок, полученных с помощью вакуумно-плазменных методов, в том числе обладающих эффектом памяти формы; исследование функциональных свойств композитных материалов, содержащих элементы из никелида титана.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что после напыления ионно-плазменными методами полученные $TiNi$ плёнки находятся в аморфном состоянии. Последующий отжиг приводит к кристаллизации части материала, о чём свидетельствует появление экзо- и эндотермических пиков на калориметрических кривых при термоциклировании отожжённых образцов. Установлено, что в процессе нанесения защитных покрытий TiN и Ti методами вакуумного ионно-плазменного напыления в материале с термоупругими фазовыми переходами происходят значительные изменения кинетики и температур мартенситных превращений, что, связано с высоким энергетическим воздействием на материал в процессе напыления. Последующая термическая обработка при температуре $500^{\circ}C$ практически полностью устраняет влияние напыления на фазовые переходы в материале.

Содержание

Введение.....	5
1 Отработка методики калориметрических исследований свойств тонких пленок никелида титана, полученных плазменным напылением	7
2 Исследование калориметрических свойств тонких плёнок никелида титана, в зависимости от режимов их получения плазменным напылением	14
3 Калориметрические исследования свойств тонких пленок никелида титана, полученных плазменным напылением, после изохронного отжига	23
4 Калориметрические исследования тонких пленок никелида титана, полученных плазменным напылением, после изотермического отжига	28
5 Исследование свойств никелида титана после нанесения защитных покрытий	33
6 Калориметрические исследования свойств никелида титана с нанесенными защитными покрытиями после изохронного отжига	46
7 Калориметрические исследования свойств никелида титана с нанесенными защитными покрытиями после изотермического отжига ...	55
8 Калориметрические исследования свойств никелида титана с нанесенными защитными покрытиями после термомеханической обработки	60
9 Калориметрические исследования свойств биметаллического композита, содержащего элемент из никелида титана, полученного методом высокоскоростного соударения	66
10 Исследование калориметрических свойств биметаллического композита после прокатки	69
11 Тепловизионные исследования процесса тепловыделения при фазовых переходах	72
12 Анализ полученных экспериментальных данных. Написание заключительного отчета о результатах проведенных научных исследований. Выдача рекомендаций по практическому использованию результатов исследований	86
Заключение.....	88
Список использованных источников	89

Список использованных источников

1. Хачин В.Н., Пушин В.Г., Кондратьев В.В. Никелид титана: структура и свойства. - М.: Наука, 1992. - 160 с.
2. Otsuka K., Wayman C.M. Shape memory materials. - Cambridge University Press, 1998. - 284 p.
3. Мейснер Л.Л., Сивоха В.П., Шаркеев Ю.П., Кульков С.Н., Гриценко Б.П. // Пластическая деформация и разрушение ионно-модифицированного сплава $Ni_{50}Ti_{40}Zr_{10}$ с ЭПФ на мезо-и макроуровнях // ЖТФ – 2000. - Т. 70, Вып.1. - С.32-36.
4. Мейснер Л.Л., Сивоха В.П., Лотков А.И., Бармина Е.Г., Гирякова Ю.Л. // Пластические свойства сплавов NiTi с тонкими поверхностными слоями, модифицированными облучением // Материаловедение, 2003. - №4. - С.43-47.
5. Лотков А.И., Мейснер Л.Л., Гришков В.Н. Сплавы на основе никелида титана: ионно–лучевая, плазменная и химическая модификации поверхности // Физика металлов и материаловедение. Т.99. №5. – 2005. – С. 66–78.
6. Андреев, А.А. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия / А.А. Андреев, Л.П. Саблев, В.М. Шулаев, С.Н. Григорьев // Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. – 236 с.
7. Wibowo, E. Fabrication and characterization of sputtered NiTi shape memory thin films / E. Wibowo, C.Y. Kwok. // J. of Micromechanics and Micro-engineering. № 16, 2006. – P. 101-108.
8. He, Q. Characterization of sputtering deposited NiTi shape memory thin films using a temperature controllable atomic force microscope / Q. He, W.M. Huang, M.H. Hong, M.J. Wu, Y.Q. Fu, T.C. Chong, F Chellet, H.J. Du. // Smart Materials and Structures. № 13, 2004. - P. 977-982.

9. Otsuka, K. Recent developments in the research of shape memory alloys / K. Otsuka, X. Ren. // *Intermetallics*. № 7, 1999. - P. 511-528.

10. Горбачук, В.В. Руководство к спецпрактикуму по химической термодинамике / В.В. Горбачук, М.А. Зиганшин, В.Б. Новиков, В.А. Сироткин // Научно-образовательный центр КГУ «Материалы и технологии XXI века» - Казань, 2005. – 21 с.

11. Емелина, А.Л. Дифференциальная сканирующая калориметрия / А.Л. Емелина // Лаборатория химического факультета МГУ – Москва, 2009. – 17 с.

12. Ohta, A. Novel fabrication technique of TiNi shape memory alloy film using separate Ti and Ni targets / A. Ohta, S. Bhansali, I. Kishimoto, A. Umeda // *Sensors and Actuators*. № 86, 2000. - P.165–170.

13. Chen, J.Z. Crystallization behavior of r.f.-sputtered TiNi thin films / J.Z. Chen, S.K. Wu // *Thin Solid Films*. Vol. 339, Issues 1-2, 1999. - P. 194-199.

14. Tong, L.B. Investigation on mechanical properties of sputtered TiNi thin films / L.B. Tong, Y.H. Li, F.L. Meng, H.W. Tian, W.T. Zheng, Y.M. Wang // *J. of Alloys and Compounds*, Vol. 494, Issues 1-2, 2010. – P. 166-168.

15. Motemani, Y. Rapid thermal annealing of Ti-rich TiNi thin films: A new approach to fabricate patterned shape memory thin films / Y. Motemani, M.J. Tan, T.J. White, W.M. Huang // *Materials & Design*, Vol. 32, Issue 2, 2011. - P. 688-695.

16. Fu, Yongqing. Effects of film composition and annealing on residual stress evolution for shape memory TiNi film / Yongqing Fu and Hejun Du. // *Materials Science and Engineering A*. Vol. 342, Issues 1-2, 2003. - P. 236-244.

17. Lei, Y.C. The effect of the underlying substrate on crystallization kinetics of TiNi thin films / Y.C. Lei, W. Cai, X. An and L.X. Gao. // *J. of Non-Crystalline Solids*. Vol. 354, Issues 40-41, 2008. - P. 4572-4576.

18. Ионно-лучевое осаждение TiNi покрытий / Рубаник В.В., Андреев М.А., Рубаник В.В. мл., Маркова Л.В., Рулинский В. // *Международный*

симпозиум «Перспективные материалы и технологии»: Сб. статей, 24-26 мая 2011 г., Витебск, с.215-221.

19. Милюкина, С.Н. Исследование TiNi плёнок методами дифференциальной сканирующей калориметрии / С.Н. Милюкина // XLIV научно-техническая конференция преподавателей и студентов университета: тез. докл. / УО «ВГТУ». — Витебск, 2011. — С. 42.

20. Кинетика термоупругих фазовых переходов в покрытиях из никелида титана, полученных вакуумно-плазменным методом / Рубаник В.В., Клубович В.В. Рубаник В.В.мл., Маркова Л.В., Багрец Д.А., Милюкина С.Н. // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: VI Междунар. НТК (Минск, 14-16 сентября 2011 г.): сб. материалов в 3 кн. Кн. 2. Высокоэнергетические технологии получения и обработки материалов. Технологии и оборудование инженерии поверхностей / ред. коллегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2011, с. 320-324.

21. Gill, J.J. Three-dimensional thin-film shape memory alloy microactuator with two-way effect / J.J. Gill, K. Ho, G.P. Carman // J. of Microelectromechanical Systems. № 11, 2002. – P. 68-77.

22. Sanjabi, S. Growth and characterization of Ti_xNi_{1-x} shape memory thin films using simultaneous sputter deposition from separate elemental targets / S. Sanjabi, S.K. Sadrnezhaad, K.A. Yates, and Z.H. Barber // Thin Solid Films. № 491, 2005. - P. 190-196.

23. Савельев И.В. Курс физики: В 3 3-х т. Т.3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: Наука. – 1989. – 304 с.

24. Плотников, А.И. Методика экспериментального определения коэффициентов теплового излучения корпусов газотурбинных установок / А.И. Плотников, А.Н. Саженов // Интернет ресурс www.pstu.ru.

25. РД 153-34.0-20.363-99. Методика инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ / РАО «ЕЭС России», 2000. – 136 с.

26. Кинетика термоупругих фазовых переходов в покрытиях из никелида титана, полученных вакуумно-плазменным методом / Рубаник В.В., Клубович В.В. Рубаник В.В.мл., Маркова Л.В., Багрец Д.А., Милюкина С.Н. // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: VI Междунар. НТК (Минск, 14-16 сентября 2011 г.): сб. материалов в 3 кн. Кн. 2. Высокотехнологические технологии получения и обработки материалов. Технологии и оборудование инженерии поверхностей / ред. коллегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2011, с. 320-324.

27. Nam T., Chung D., Lee H., Kim J., Choi M. Effect of the surface oxide layer on transformation behavior and shape memory characteristics of Ti-Ni and Ti-Ni-Mo alloys // J. of Materials Science. №38. - 2003. - P. 1333-1338.

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

29. Klubovich V.V., Rubanik V.V., Bagrets D.A. The effect of annealing conditions on the adhesive properties of TiN coatings / Journal of Friction and Wear. September 2012, Volume 33, Issue 5, pp. 371-373.

30. Рубаник В.В., Милюкина С.Н., Багрец Д.А. Исследование влияния процесса нанесения защитного покрытия на функциональные свойства сплава с памятью формы / Тезисы докладов 45 респуб. НТК преподавателей и студентов, посвященной году книги / УО «ВГТУ». – Витебск, 2012. – С. 90-91.

31. Прокошкин С.Д., Браиловский В., Хмелевская И.Ю. и др. Создание субструктуры и наноструктуры при термомеханической обработке и управление функциональными свойствами Ti-Ni сплавов с эффектом запоминания формы // МиТОМ. 2005. № 5. - С. 24–29.

32. Prokoshkin S.D., Brailovski V., Inaekyan K.E. et al. Structure and properties of severely cold-rolled and annealed Ti-Ni shape memory alloys // Mater. Sci. Eng. A. 2008. V. 481–482. - P. 114–118.

33. Турилина В.Ю. Особенности субструктуры, параметры диаграмм деформации и функциональные свойства сплавов Ti-Ni с памятью формы, подвергнутых НТМО с последеформационным нагревом / В.Ю.Турилина // Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / МГИСиС.–М., 2003.– 24 с.

34. Прокошкин С.Д., Браиловский В., Коротичский А.В., Инаекян К.Э., Глезер А.М. Особенности формирования структуры никелида титана при ТМО, включающей холодную пластическую деформацию от умеренной до интенсивной // ФММ, 2010, том 110, № 3. - С. 305–320.

35. Кузьмин Л.М., Лихачев В.А., Тошпулатов Ч.Х. Эффект реверсивной памяти формы при знакопеременном деформировании. // ФММ, 1986. – Т.61, №1. – С.79-85.

36. В.В.Клубович, В.В.Рубаник, В.А.Лихачев, В.В.Рубаник (мл.), В.Г. Дородейко. Инициирование эффекта памяти формы в никелиде титана с помощью ультразвука. //Сб. Современные вопросы физики и механики материалов. Санкт-Петербург, 1997. – С.235-238.

37. Рубаник В.В. мл., Рубаник В.В., Вьюненко Ю.Н. Ультразвуковое инициирование ЭПФ // Современные проблемы прочности: Науч. тр. VI Междунар. симпоз., Старая Русса, 20-24 окт. 2003 г.: В 2 т.— Великий Новгород, 2003.— Т. 2.— С. 23-26.

38. Вьюненко Ю.Н., Журбенко П.Н., Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл. Инициирование «скользящего» развития эффекта памяти формы в протяженных образцах // Тез. докл. Междунар. конф. по физической мезомеханике, компьютерному конструированию и разработке новых материалов MESOMECH'2006 (19-22 сент. 2006 г., Томск). - Томск, 2006. - С. 262-263.

39. Ильин А.А., Скворцов С.В., Никитич А.С. Характеристики восстановления формы листов из сплава Ti-49,5%Ni. //Цвет. мет., 1986. – 12. – С.69-71.

40. Рубаник В.В., Рубаник В.В.(мл.), Милюкина С.Н. Влияние ультразвуковой обработки на деформационные эффекты в Ti-50,4ат.%Ni // Международный симпозиум «Перспективные материалы и технологии»: Сб. статей. 29 мая – 1 июня 2013. Витебск, 2013. – С. 197-200.

41. Клубович, В.В. Мартенситные пре-вращения в никелиде титана после ионно-плазменного напыления TiN покрытия / В.В.Клубович, В.В.Рубаник, Д.А.Багрец, С.Н.Милюкина, В.Г.Дородейко, В.В.Рубаник // Материалы, технологии, инструменты. Т.18 (2013), № 2. – С. 47-51.

