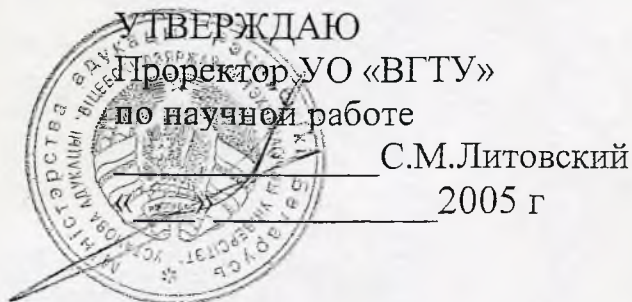


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УО «Витебский государственный технологический университет»

УДК 669.24.295

№ ГР 2001526

Инв. № \_\_\_\_\_




**ОТЧЕТ**

о научно-исследовательской работе

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ГЕНЕРАЦИИ  
РЕАКТИВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СПЛАВАХ ОБЛАДАЮЩИХ  
ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА И  
МОНОКРИСТАЛЛАХ  $\text{CuAlNi}$  В ПОЛЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

(заключительный)  
2005-г/б-302

Научный руководитель  
д.т.н., доц.



В.В Рубаник

Начальник НИС УО «ВГТУ»

С.А. Беликов

Витебск 2005

Библиотека ВГТУ



## Список исполнителей

Руководитель темы,  
д.т.н., доц.

В.В. Рубаник (общее  
руководство работами, анализ  
и интерпретация результатов  
исследования)

Исполнители:

к.ф.-м.н., доц.

В.Л. Шушкевич

к.ф.-м.н.

В.В. Рубаник мл.  
(эксперим. часть,  
разделы 1-5)

ст препод.

А.В Мясоедов (участие в  
проведении испытаний)

ст. препод.

Н.В. Дырко (перевод  
технич. литературы)

ассистент

О.Е. Рубаник (участие в  
проведении испытаний,  
обработка эксперим. данных)

аспирант

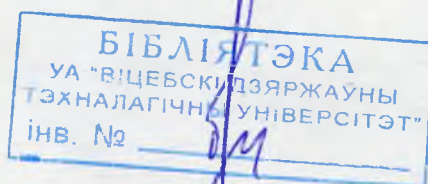
В.Н. Кузнецов (участие в  
проведении испытаний)

студент

М.А. Бегунов (участие в  
проведении испытаний)

нормоконтроль

С.А. Беликов



## Реферат

Отчет 71 с., 33 рис., 64 источника.

ПАМЯТЬ ФОРМЫ, УЛЬТРАЗВУК, МАРТЕНСИТ, РЕАКТИВНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ФАЗОВОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ, ДЕФОРМАЦИЯ.

Объектом исследования являются сплавы никелида титана эквиатомного состава и монокристаллы  $\text{CuAlNi}$ , обладающие эффектом памяти формы.

Цель работы - исследование закономерностей генерации реактивных напряжений в сплавах  $\text{TiNi}$  и  $\text{CuAlNi}$  под действием ультразвуковых колебаний.

Проводились экспериментальные исследования по генерации реактивных напряжений под воздействием акустических колебаний; исследования температурных полей создаваемых ультразвуковыми колебаниями в образцах резонансной длины.

Разработаны новые способы генерации реактивных напряжений в  $\text{TiNi}$  сплавах в изотермических условиях за счет воздействия на них колебаний ультразвуковой частоты.

Полученные результаты могут найти применение при реализации эффекта генерации механических напряжений в различных изделиях медицинского и технического назначения, а также в процессах обработки металлов давлением.



## Содержание

	стр.
Введение	7
1 Особенности генерации реактивных напряжений в материалах, обладающих эффектом памяти формы	10
2 Экспериментальная установка	15
2.1 Модернизированная установка “ИМАШ-20-78”	16
2.2 Автоматизация процесса измерения с выводом данных на компьютер	18
2.2.1 Управление регистрацией данных измерений	22
2.2.2 Управление температурой образца	23
3 Температурные поля, создаваемые акустическими колебаниями в сплавах обладающими эффектом памяти формы	26
4 Генерация реактивных напряжений в сплавах на основе никелида титана и монокристаллах CuAlNi в поле акустических колебаний	33
4.1 Кинетика генерации реактивных напряжений в сплавах с эффектом памяти под действием ультразвука при одноосном нагружении	33
4.2 Влияние предварительной деформации с наложением УЗК на генерацию реактивных напряжений	37
4.3 Генерация реактивных напряжений в никелиде титана при термоциклировании	41
4.4 Генерация реактивных напряжений в никелиде титана при термоциклировании в неполном интервале мартенситного превращения	43
5 Моделирование генерации реактивных напряжений в сплавах, обладающих ЭПФ	45
5.1 Методы математического моделирования поведения материалов, обладающих ЭПФ	45

5.2 Компьютерное моделирование процесса генерации реактивных напряжений в сплавах, обладающих ЭПФ, на основе структурно-аналитической теории прочности	51
5.2.1 Компьютерное моделирование процесса генерации реактивных механических напряжений в сплавах никелида титана	51
5.2.2 Компьютерное моделирование процесса генерации реактивных механических напряжений в монокристаллах CuAlNi	56
5.3 Моделирование генерации реактивных напряжений при ультразвуковом воздействии	
Заключение	63
Список использованных источников	64

## Введение

Исследования обратимых фазовых превращений были начаты после сообщения в 1949 г. Г.В. Курдюмовым и Л.Г. Хандром о термоупругом мартенсите [1]. Особенно интенсивно эти работы ведутся в последние 10–15 лет. Это связано с тем, что обратимые мартенситные превращения обуславливающих целый ряд уникальных физических явлений: эффект памяти формы, генерация реактивных напряжений, сверхпластичность. Эффект деформационной памяти заключается в том, что деформированный материал способен восстанавливать исходную заданную форму при нагреве выше температуры фазового превращения. Физика этого явления обусловлена термоупругим обратным мартенситным превращением мартенсит→аустенит. Осуществление прямого фазового превращения сопровождается снижением сопротивления деформированию, увеличением пластичности, возрастанием внутреннего трения и т.п. Восстановление формы материалов обладающих эффектом памяти формы при нагреве происходит столь интенсивно, что в ряде случаев возврат деформации не удается подавить даже напряжением, близким к пределу прочности. Если предварительно деформированный металл «защемить» и не дать ему возможности свободно восстанавливать деформацию при нагреве, то в нем возникают очень высокие напряжения, которые принято называть реактивными.

Реализация эффекта памяти формы в заневоленном материале, не нарушая общих закономерностей явления, тем не менее, позволяет вскрыть новые, типичные только для этого вида испытаний, свойства материала. Развитие реактивных напряжений определяется не только теми факторами, от которых зависят эффекты однократной, многократной памяти формы и пластичность превращения, но и рядом других причин, в первую очередь способностью металла «воспринимать» термомеханические усилия, т.е. возможностью генерировать и релаксировать напряжения.



Важнейшая проблема, связанная с эффектом генерации реактивных напряжений, сводится к вопросу об их релаксационной способности в изотермических условиях. В настоящее время установлено, что реактивные напряжения даже при максимальном их уровне релаксируют очень медленно. Точные закономерности еще не исследованы, но они, по-видимому, мало отличаются от законов релаксации напряжений, создаваемых приложением внешней нагрузки при постоянной температуре.

В отличие от обычных материалов, сплавы с памятью формы наряду с дислокационным обладают также другими специфическими механизмами деформации, такими как термоупругое мартенситное фазовое превращение или двойникование (при переходе от одной ориентации мартенсита к другой), осуществляемые посредством движения не дислокаций, а других носителей деформации – межфазных и двойниковых границ раздела [2]. Закономерности деформирования материала по этим механизмам отличаются сложным характером зависимости соответствующего предела текучести от температуры, который при температурах внутри или вблизи интервала превращения ниже дислокационного предела текучести обеих фаз. Кроме того, различными являются дислокационные пределы текучести исходной и образующейся фаз, в связи с чем изменение фазового состава также влияет на напряжение течения материала.

В виду вышесказанного, можно ожидать, что влияние ультразвуковых колебаний на процесс пластического течения в сплавах с памятью формы при температурах вдали от интервала превращения будет подобно таковому в обычных материалах и может быть иным при температурах, близких к температурам превращения. Нами впервые получены экспериментальные данные, подтверждающие возможность инициирования ЭПФ с помощью только энергии ультразвуковых колебаний [3-8], а так же влияние УЗК на пластические свойства TiNi проволоки при одноосном растяжении [9-15]

Более эффективное действие ультразвука по сравнению с традиционными способами нагрева, вероятно, обусловлено тем, что энергия УЗК поглощается преимущественно на неоднородностях кристаллической структуры (дислокации, границы зерен, точечные дефекты и др.), в то время как поглощаемая тепловая энергия при нагреве током распределяется равномерно по всему объему. В результате можно предполагать, что УЗК должны способствовать инициированию фазовых превращений в большей мере, чем непосредственный нагрев, косвенный или прямой.

Совершенно не исследован процесс генерации реактивных напряжений под действием УЗК и не определена роль ультразвукового нагрева и собственно самих акустических колебаний в фазовых превращениях мартенситного типа. Хотя принципиальная возможность таких превращений под действием только УЗК нами показана [3-8]. В свете изложенного представляет интерес использование для генерации реактивных напряжений ультразвуковых колебаний, которые обуславливают при определённых условиях не только нагрев материала, но и возникновение в нём значительных знакопеременных механических напряжений.

Полученные результаты могут найти применение при получении различных медицинских и технических изделий, а так же в процессах обработки металлов давлением. Последнее обусловлено тем, что технология обработки TiNi сплавов очень трудоемка [16-18] и интенсификация ее с помощью УЗК является актуальной задачей.



## Список использованных источников

- 1 Курдюмов Г.В., Хандрос Л.Г. О “термоупругом” равновесии при мартенситных превращениях. - Докл. АН СССР, 1949 - Т 66, № 2. - С. 211-214.
- 2 Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. Л. Изд-во Ленингр. ун-та, 1987 - 216 с.
- 3 Generation of Shape Memory Effect in TiNi Alloy by Means of Ultrasound. V V.Klubovich, V V.Rubanick, V.A.Likhachev et al. / Proceedings II International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies: Engineering and Biomedical Applications. -Asilomar, Pacific Grove, CA (USA), 1997.-P.59-64.
- 4 Рубаник В.В. (мл.) Некоторые особенности кинетики мартенситных превращений TiNi сплавов в ультразвуковом поле // Междунар. науч. симп. молодых науч. работников. Зелена Гура, Польша, 1997 - Сб. докл. Т. IV - С.173-176.
- 5 Рубаник В.В. (мл.) Инициирование эффекта памяти формы в никелиде титана с помощью ультразвука. // Тез. докл. XXIX науч.-техн. конфер. ВГТУ. - Витебск: ВГТУ, 1996. - С.17
- 6 Инициирование эффекта памяти формы в никелиде титана с помощью ультразвука. В.В.Клубович, В.В.Рубаник, В.А.Лихачёв и др. // Матер. XXXII семинара “Актуальные проблемы прочности”.-С.-Пб., 1996.-С.235-238.
- 7 Klubovich V V., Rubanick V V , Likhachov V.A. et al. Shape memory effect generation in “nitinol” by means of ultrasound / Proceedings International Symposium “Acoustoelectronics, Frequency Control and Signal Generation” - Moscow, 1996. - P.38-42.
- 8 Пат 1 С1 ВУ, МПК С21D 8/00, С22F 3/00. Способ инициирования эффекта памяти формы / Клубович В.В., Рубаник В.В., Дорудейко В.Г., Рубаник В.В. (мл.), Царенко Ю.В. - № 2413, Заявл. 05.07 1996; Опубл. 30.09 1998 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат ведамства Рэсп. Беларусь. - 1998

9 Ti-Ni-wire deformation in ultrasound field. V V. Rubanick, V V Klubovich, V V Rubanick, Jr // International workshop "Nondestructive Testing and Computer Simulations in Material Science and Engineering" - St.Petersburg, Russia, 1997. - P D12.

10 Рубаник В.В. (мл.) Условие потери памяти формы при холодном волочении в титан-никелевой проволоке. // Сб. научных трудов ВГТУ - Витебск. 1995 - С.123-125

11 Рубаник В.В., Дородейко В.Г., Рубаник В.В. (мл.) Исследование процесса волочения и термообработки Ti-Ni проволоки. // "Производство и ремонт механизмов и машин в условиях конверсии" Тез. докл. конф. - Крым, 1995 - С.75.

12 Клубович В.В., Рубаник В.В., Рубаник В.В. (мл.), Филимоненков А.О. Влияние ультразвуковых колебаний на процесс волочения и свойства титан-никелевой проволоки. // Междунар. науч.-технич. конф. "Ультразвуковая техника и техногия". Тез. докл. конф. - Минск, 1995.- С.39.

13 Rubanik V.V., Dorodeiko V G., Rubanik V V., Jr The influence of ultrasonic vibrations on drawing process of the wire of TiNi // Proceeding of 1-st World Congress on Ultrasonics.- Berlin, 1995, -P.45

14 Некоторые особенности волочения титан-никелевой проволоки с наложением продольных ультразвуковых колебаний. // Материалы с эффектом памяти формы. Сб. докл. 1-го Российско-Американского семинара / Рубаник В.В., Дородейко В.Г., Рубаник В.В. (мл.), Царенко Ю.В. - С.-Пб, 1995 -Ч. 1. - С.76-77

15 Рубаник В.В. (мл.) Волочение проволоки из никелида титана с наложением продольных ультразвуковых колебаний. // Междунар. науч. симпозиум молодых науч. работников. Зелена Гура, Польша, 1996. - Сб. докл. Т 1 - С. 61-65

16 Некоторые особенности деформационного поведения сплавов с эффектом памяти формы на основе никелида титана / Бородай И.А., Кошеленко

Л.С., Козлов В.А. и др. // Тез. докл. Всесоюзной конф. по мартенситным превр. в тв. т - Киев, 1991. - С.258.

17 Miyazaki S., Otsuka K., Suzuki Y. Transformation pseudoelasticity and deformation behaviour in a Ti-50.6 at.% Ni alloy // Scripta Metallurgica, 1981. - Vol.15, №3 - P.287-292.

18 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

19 Захарова Н.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А., Патрикеев Ю.И., Королев М.Н. Исследование реактивных напряжений в композиции титан-никель-медь // Проб. прочности. 1983. № 3. - С.84-88.

20 Кузьмин С.Л., Лихачев В.А., Шиманский С.Р., Чернышенко А.И. Эффект ориентированного превращения в никелиде титана. - Физика металлов и металловедение, 1984. - Т.57, вып. 3 - С.612-614.

21 Лотков А.И., Гришков В.Н. Никелид титана. Кристаллическая структура и фазовые превращения.- Изв. Вузов. Физика, 1985, т 27, № 6.-С.68-87.

22 Сплавы с памятью формы на основе никелида титана. Фаткулина Л.П. - Технология легких сплавов, 1990, № 4. - С. 9.

23 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

24 Сплавы с эффектом памяти формы / К.Ооцука, К.Сумидзу, Ю.Судзуки и др./ Под ред. Фунакубо Х.. Пер. с японск.- М.. Металлургия, 1990.- 224с.

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

26 Sekiguchi Y e. a. Effect of cycle on the mechanical properties of the TiNi alloys // J Faculty Engng. Univ. Tokyo. 1982. Vol. 36. N 4. P 777-786.



27 Андреев А.В., Хусаинов М.А., Беляков В.Н. Методика исследования генерации и релаксации реактивных напряжений // Материалы с новыми функциональными свойствами. Новгород-Боровичи, 1990. – С.164-166.

28 Апаев Б.А., Вороненко Б.И. Эффект запоминания формы в сплавах //Металловед. и терм. обработка мет 1973 № 1 С. 24-28

29 Чернов Д.Б., Фаткуллина Л.П., Смирнова З.И., Тимонин Г.Д., Олейникова С.В. Характеристики восстановления формы у полуфабрикатов из никелида титана // Технология легких сплавов. 1978. № 5 С. 63-66.

30 Хусаинов М.А., Беляков В.Н. Исследование генерации и релаксации реактивных напряжений // Материалы с эффектом памяти формы и их применение. Новгород. 1992. – С. 65-73

31 Лихачев В.А., Мастерова М.В., Маршалкин. А.Н., Макаров И.Ю Закономерности генерации реактивных напряжений в сплаве TiNi //Проблемы прочности. 1983, № 4.– С. 72-74.

32 А.с. 1086282 СССР МКИ F 16 L 13/14. Устройство для соединения труб / У Хасьянов, Н.Н. Анисимов, А.А. Луковников. № 3525131/25-08, Заявлено 20.12.82; Оpubл. 15.04.84, Бюл. № 14.

33 А.с. 1218232 СССР МКИ F 16 L 13/00. Способ неразъемного соединения труб из пластичных материалов / А.Е. Шапиро. № 3785422/29-08, Заявлено 30 08.84; Оpubл. 15.03.86, Бюл. № 10.

34 Пат 1327442 Великобритания МКИ С 22 С 19/00, 5/00, 31/00. A hollow article made from a memory metal / Raychem Corporation (USA). N 8533/73, Заявлено 20 08.70; Оpubл. 22.08 73, Приоритет 25 08.69, № 852722 (USA). НКИ С7А, В3А, С7D, F2G

35 Пат 4135743 США МКИ F 16 L 55/00. Heat recoverable coupling for tubing / J.R. Hughes, Raychem Corporation (USA). N 830404, Заявлено 06.09 77, Оpubл. 23.01.79 НКИ 285/115, 285/381

36 Пат 1548964 Великобритания МКИ F 16 В 19/08, F 16 В 37/04. Fastening devices / С.Л. Martin N 14654/76; Заявлено 09.04.76; Оpubл. 18.07 79 НКИ F24.

37 А.с. 676376 СССР МКИ В 21 К 1/58, В 21 J 5/08. Способ изготовления заклепок / В.П. Сабелькин, В.К. Борисевич, А.А. Губский, С.Н. Солодянкин. № 2480643/25-27, Заявлено 25.04.77, Оpubл. 30 07 79, Бюл. № 28.

38 А.с. 941010 СССР. МКИ В 21 К 1/58. Способ получения заклепочно-го соединения / В.Г Шибиков, И.М. Володин, Л.А. Рябцева, Ю.Г Шибиков; Липецкий политехнический институт № 3009517/25-27, Заявлено 26.11.80; Оpubл. 07.07.82, Бюл. № 25.

39 А.с. 966201 СССР МКИ Е 04 G 21/12. Устройство для фиксации и плавного отпуска натяжения арматуры / И.И. Кравченко; Витебский домостроительный комбинат № 2996773/29-33, Заявлено 23 10.80; Оpubл. 15 10.82, Бюл. № 38.

40 А.с. 1004251 СССР МКИ В 66 F 1/00 Домкрат / Г.П. Гаврилов, В.К. Аман, Л.И. Тищенко и др. № 3371556/27-11, Заявлено 23 12.81, Оpubл. 15.03.83, Бюл. № 10.

41 А.с. 1428938 СССР, МКИ<sup>5</sup> G 01 H 11/00 Ультразвуковой виброметр / М.Д.Тявловский, В.А.Колтович, С.П.Кундас и др. (СССР). № 3854244/25-28, Заявл. 23 11.84, Оpubл. 07 10 88, Бюл. № 37 // Открытия. Изобретения.– 1988.– № 37 – С. 146.

42 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

43 Rubanik V V The martensite unelasticity effects with the help of US vibrations / 7<sup>th</sup> European Conference on Advanced Materials and Processes “Euro-mat-2001” Abstracts, Rimini, 2001, p. 175.

44 Rubanik V V. et all. / Control of reshaping for the shape memory alloys through the hypersonic oscillations //Proc. of the Intern. Scientific and Engineering



Conference “High technologies in advanced metal science and engineering”, St. Petersburg, 2001, p.70-71

45 Клубович В.В., Рубаник В.В., Бегунов М.А., Рубаник В.В. (мл.), Бороженцева Ю.Б. Изменение температуры резонансных образцов при ультразвуковом воздействии // Актуальные проблемы прочности: Материалы XLIII Междунар. конф., Витебск, 27 сент – 1 окт 2004 г. В 2 ч.— Витебск, 2004.— Ч. 1.— С. 336—340.

46 Rubanik V V., Klubovich V.V., Rubanik V V., Jr The ultrasounds initiation of SME // J de Phys.— 2003.— Vol. 112, № IV.— P 249—251

47 Rubanik V V., Klubovich V V., Rubanik V V., Jr. The ultrasounds initiation of SME // 10<sup>th</sup> International conference on martensitic transformations ICOMAT’02 Book of abstracts, Espoo, 9-14 June 2002 / Helsinki university of technology.— Espoo, Finland, 2002.— P 241

48 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. 54-57

49 Моделирование акустопластического эффекта в никелиде титана / С.П.Беляев, Е.Д.Вдовин, А.Е.Волков В.В.Рубаник, В.В Сидоренко, В.В.Рубаник (мл.) // Механизмы деформации и разрушения перспективных материалов. Материалы XXXV семинара «Актуальные проблемы прочности», Псков, 15–18 сент 1999 г.. В 2 ч.— Псков, 1999.— Ч. II.— С. 569-576.

50 Беляев С.П., Рубаник В.В., Рубаник В.В. (мл.) Влияние знакопеременных механических напряжений на процессы пластичности превращения и памяти формы в TiNi // Актуальные проблемы прочности: Материалы XLIII Междунар. конф., Витебск, 27 сент.– 1 окт 2004 г.. В 2 ч.— Витебск, 2004.— Ч. 1.— С. 320-324.

51 Пат 4065 С2 ВУ, МПК В 01J 19/10, С 21D 1/04. Способ генерации реактивных напряжений в материалах с эффектом памяти формы /



В.В.Рубаник, В.В.Рубаник (мл.), Ю.В.Царенко, А.Е.Волков, С.П.Беляев.– № 19980546; Заявл. 05.06.1998, Опубл. 30 09.2001 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. 2001.– № 3 (30). С. 104.

52 Рубаник В.В., Клубович В.В., Рубаник В.В. (мл.) Формовосстановление TiNi с памятью формы подвергнутых ультразвуковой обработке // Актуальные проблемы прочности: Тез. докл. Междунар. семинара / Калужский филиал МГТУ им. Н.Э Баумана. – Калуга, 2004. С. 229

53 Лихачев В.А., Малинин В.Г Структурно-аналитическая теория прочности.– СПб. Наука, 1993.– 471 с.

54 Малыгин Г.А. Кинетическая модель эффектов сверхупругой деформации и памяти формы при мартенситных превращениях // ФТТ. 1993.– Т 35, вып. 1.– С.127–137

55 Малыгин Г.А. Теория амплитудно-зависимого внутреннего трения и акустопластического эффекта в сплавах с памятью формы // ФТТ.– 2000.– Т 42, вып. 3 С.482.

56 Малыгин Г.А. Акустопластический эффект и механизм суперпозиции напряжений // ФТТ. 2000 Т. 42, вып. 1.– С.69-75.

57 Rubanik V.V et all. / Control of reshaping for the shape memory alloys through the hypersonic oscillations //Proc. of the Intern. Scientific and Engineering Conference “High technologies in advanced metal science and engineering”, St. Petersburg, 2001, p.70-71.

58 Рубаник В.В., Вьюненко Л.Ф., Вьюненко Ю.Н., Клубович В.В., Рубаник В.В. (мл.) Управление формовосстановлением сплавов с памятью формы ультразвуковыми колебаниями // Актуальные проблемы прочности: Тез. докл. XXXVI междунар. семинара, Киев, 3-5 июля 2001 г.- Киев, 2001.- С. 181-182.

59 Пат. 4134 С2 ВУ, МПК С 21D 1/04, 7/02, В 06В 1/00. Способ создания обратимого эффекта памяти формы / В.В.Клубович, В.В.Рубаник, В.Г.Дородейко, В.В.Рубаник (мл.), Ю.В.Царенко.– № 970051; Заявл.

06.02.1997; Оpubл. 30.12.2001 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат ведамства Рэсп. Беларусь.– 2001.– № 4 (31). С. 155

60 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. 54-57

61 Беяев С.П., Волков А.Е., Рубаник В.В., Рубаник В.В (мл.), Сидоренко В.В. Тепловое моделирование механического поведения TiNi при ультразвуковом нагружении // Структура и свойства перспективных материалов и сплавов. Тр. XL Междунар. семинара «Актуальные проблемы прочности», Великий Новгород, 30 сент.- 4 окт 2002 г.- Великий Новгород, 2003.- С.25-28.

62 Рубаник В.В., Бегунов М.А., Борозенцева Ю.Б., Рубаник В.В (мл.) Компьютерное моделирование изменения температуры образца при ультразвуковом воздействии // XXXVII науч.-техн. конф. препод. и студ. университета. Тез. докл. / УО «ВГТУ».- Витебск, 2004.- С. 30.

63 Рубаник В.В. Инициирование эффекта памяти формы в сплавах Ti-Ni под действием ультразвуковых колебаний: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат наук: 01 04.07 / БГУ Мн., 2005 23 с.

64 Рубаник В.В. Новые способы и технологии ультразвуковой обработки материалов. Автореф. дис. .. доктора техн. наук: 05 03 01 / ФТИ НАН Беларуси.– Мн., 2005.– 47 с.

