

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Витебский государственный технологический университет
(ВГТУ)

УДК 669.24'295

№ госрегистрации 2000.1036

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Проректор ВГТУ по научной работе

С.М. Литовский

г.



ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
“ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА БЛАГА-
ЛАНГЕНЕКЕРА В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА”
(заключительный)

2000-Г/Б-288

Начальник НИС

Руководитель НИР
канд. техн. наук, с.н.с.

С.А.Беликов

В.В.Рубаник

Витебск 2000 г.

Библиотека ВГТУ



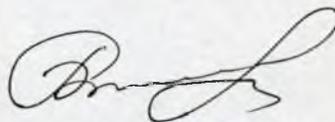
СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель работы,
ст. науч. сотр.,
канд. техн. наук



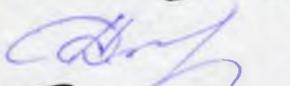
В.В.Рубаник

Ответственный исполнитель,
мл. науч. сотр.



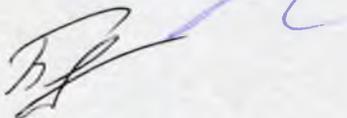
В.В.Рубаник (мл.)

Ассистент

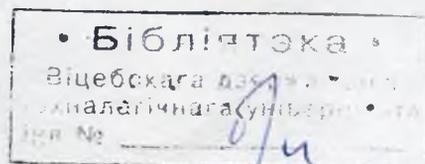


Н.В.Дырко

Студент



М.А.Бегунов



РЕФЕРАТ

Отчет 45 с., 14 рис., 37 источников.

ПАМЯТЬ ФОРМЫ, ДЕФОРМАЦИЯ, УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ, МАРТЕНСИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ, ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ.

Объектом исследования являются титан-никелевые сплавы, обладающие эффектом памяти формы.

Цель работы - комплексное изучение влияния ультразвуковых колебаний на эффект Блага-Лангенекера в TiNi сплаве.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования деформационного поведения Ti-Ni сплавов в поле акустических колебаний. На основании структурно-аналитической теории проведено моделирование фазовых превращений в поле акустических колебаний.

В результате исследований установлено, что основными факторами, оказывающими влияние на деформационное поведение материалов с эффектом памяти формы при ультразвуковом воздействии, являются переменные нагрузки и повышение температуры.

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	6
1. НАПРЯЖЕНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ НИКЕЛИДА ТИТАНА В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ	9
1.1. Изменение напряжения течения в металлах и сплавах при ультразвуковом воздействии	9
1.2. Изменение фазового предела течения никелида титана при ультразвуковом воздействии	13
1.3. Влияние ультразвуковых колебаний на характеристические температуры фазовых превращений в TiNi	19
2. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ НИКЕЛИДА ТИТАНА В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ	23
2.1. Математическая модель.....	23
2.2. Моделирование процесса деформирования никелида титана в ультразвуковом поле	28
3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	31
3.1. Условие потери памяти формы при холодном волочении в титан никелевой проволоке	31
3.2. Волочение проволоки из никелида титана с наложением продольных ультразвуковых колебаний	33
3.4. Скоростная электротермическая обработка сплава TiNi	37
ВЫВОДЫ	41
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	42

ВВЕДЕНИЕ

Сообщение об открытии явления обратимого термоупругого фазового превращения мартенситного типа [1] послужило основой для разработки нового класса материалов обладающих эффектом деформационной памяти - эффектом памяти формы. Сущность эффекта заключается в восстановлении первоначальной формы при нагреве выше температуры фазового превращения [2]. Для однонаправленного ЭПФ последующее охлаждение образца хотя и вызывает превращение в мартенситную фазу, однако форму образца не изменяет.

Среди сплавов обладающих ЭПФ наибольший интерес представляют сплавы на основе никелида титана, имеющие высокие прочностные и пластические характеристики: предел прочности 700+1000 МПа, относительное удлинение и сужение до 30%, ударная вязкость >300 кН/м, степень восстановления формы 95-100% после 6-8% деформации, усилия развиваемые в процессе восстановления формы 300-500 МПа. Никелид титана - это интерметаллическое соединение титана и никеля (Ti-Ni), область гомогенности которого колеблется от 2 до 5%. Структура TiNi идентифицируется как упорядоченная по типу CsCl (B2) со степенью порядка 0,8-0,9. Параметр решётки колеблется, в зависимости от состава и термообработки, от 3,005 до 3,040 А. Температура плавления составляет 1240°C. Отклонение от области гомогенности соединения TiNi приводит к выделению фаз Ti₂Ni (Fd3m) и TiNi₃ (PG-mmс) [1].

В отечественной промышленности разработан ряд сплавов на основе соединения Ti-Ni с различными добавками. Применение подобных сплавов с ЭПФ исключительно разнообразно. С их помощью эффективно решается в космической технике традиционная проблема экономии места - свёрнутые и уложенные компактно антенны, механизмы стабилизации, солнечные батареи и прочее развёртываются, или выдвигаются под воздействием солнечного тепла после запуска корабля на орбиту.

Так, например, способность сплавов TiNi совершать работу при нагреве открывает широкие возможности создания двигателей прямого преобразования тепла в механическую работу. Модели таких двигателей уже построены. Интересно использование сплавов TiNi в качестве термокомпенсаторов стрел провеса на линиях электропередач. В космической и авиационной технике в трубопроводах применяют соединительные втулки из сплавов TiNi. Они позволяют заменить пайку и сварку. Это удобно при выполнении работ в труднодоступных или пожароопасных местах, а также в космосе. Наиболее широко в настоящее время сплавы Ti-Ni используются в медицине в качестве всевозможных имплантантов, стентов, KV-фильтров [1, 2, 4].

Исследования в области обратимых мартенситных фазовых превращений были начаты после сообщения в 1948 г. Г.В. Курдюмовым и Л.Г. Хандросом о термоупругом мартенсите [5]. Особенно интенсивно научные исследования ведутся в США, Японии, Китае и России. Практически использование эффекта памяти формы распространяется от изделий космического и медицинского назначения до детских игрушек. Фундаментальные исследования этого феноменального явления проводятся, в частности, в Санкт-Петербургском государственном университете (Лаборатория В.А. Лихачёва), Томске, Москве и Киеве.

Проявление эффектов мартенситной неупругости связано исключительно с температурным фактором [2], причём нагрев может осуществляться как косвенно, так и непосредственно, например, за счёт пропускания электрического тока через сплав обладающий ЭПФ. В последнее время появились экспериментальные работы в которых показано, что давление и температура являются равноэквивалентными стимулами для инициирования мартенситных реакций, т.е. с помощью давления могут быть продуцированы те же механические эффекты, что и с помощью температуры [6, 7].

В работе [8] показано, что предел текучести при одноосном растяжении TiNi образцов под действием ультразвуковых колебаний снижается, не

зависимо от фазового состояния. Т.е. сплав TiNi ведёт себя так же, как и обычные металлы при ультразвуковом воздействии (эффект Благалангенекера). Эффективное действие ультразвука, по сравнению с традиционными способами нагрева, объясняется тем, что энергия УЗК поглощается преимущественно на неоднородностях кристаллической структуры (дислокации, границы зёрен, точечные дефекты и др.), в то время как поглощаемая тепловая энергия распределяется равномерно по всему объёму.

В материалах с памятью формы процесс деформации вблизи характеристических температур осуществляется вначале за счет термоупругого фазового превращения (или двойникования) и, лишь затем, по диффузионному каналу. Закономерности деформирования сплава по этим механизмам отличаются сложным характером зависимости соответствующего фазового предела текучести от температуры, который при температурах вблизи и внутри интервала превращения ниже дислокационного предела текучести обеих фаз. Так же, поскольку у мартенситной и аустенитной фазы дислокационные пределы текучести различны, изменение фазового состава влияет на напряжение течения материала.

В свете выше изложенного представляется, что влияние ультразвуковых колебаний на процесс пластического течения в сплавах с памятью формы при температурах вдали от интервала фазового превращения будет подобно таковому в обычных материалах и может быть иным при температурах вблизи и внутри интервала превращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сплавы с эффектом памяти формы / К.Ооцука, К.Сумидзу, Ю.Судзуки и др. / Под ред. Фунакубо Х.: Пер. с японск. - М.: Металлургия, 1990. -224с.
2. Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. - 216 с.
3. Сплавы с памятью формы на основе никелида титана. Фаткулина Л.П. - Технология легких сплавов, 1990, № 4, с. 9.
4. Эффект памяти формы в сплавах / Пер. с англ. под ред. В.А.Займовского. - М., 1979. 472с.
5. Курдюмов Г.В., Хандрос Л.Г. О "термоупругом" равновесии при мартенситных превращениях. – Докл. АН СССР, 1949, т. 66, № 2, с.211-214.
6. Лихачев В.А., Малинин В.Г., Овчаренко С.Я. Баромеханический эффект пластичности превращения и баромеханический эффект памяти формы // Механика прочности материалов с новыми функциональными свойствами. Рубежное, 1990. С. 183-188.
7. Лихачев В.А., Малинин В.Г., Овчаренко С.Я. Эффекты памяти формы, инициируемые всесторонним давлением // Физика прочности и пластичности металлов и сплавов. Самара, 1992. С. 229-230.
8. Влияние ультразвуковых колебаний на пластические свойства материалов с памятью формы / Кириллов С.А. и др. // Материалы с эффектом памяти формы: Сб. докл. 1 Российско-Американского семинара - С.-Петербург, Ноябрь 1995. -Часть 1, с. 81-84.
9. Blaha F., Langenecker B. Flastitatsuntersuchungen von Metallkristallen in Ultraschallfeld. Acta Met., 1959, 7, s.93-98.
10. Coffin L.F. Cyclic Strain-Softening Effects in Metals. Transactions of the ASM, 1967, 60, p.160-175.
11. Oelschlagel D. Die Verformung von Zinkenkristallen in Ultraschalleinwirkung. Zs. Metallkunde, 1962, 53, s.367-377.

12. Oelschlagel D. Neuere Untersuchungen uber die Ultraschallbeeinflussung der Kristallplastisitat. Acta Phys. Austr., 1964, 18, s.175-179.
13. Дяченко Г.П. Исследование процесса вибрационного волочения. Канд. диссертация К., 1963, 183с.
14. Северденко В.П., Клубович В.В. Применение ультразвука в машиностроении, "Наука и техника", Минск, 1964.
15. Северденко В.П. и др. Дислокационная структура алюминия: деформированного с у/з. Изв. АН БССР, 1975, с.12-17.
16. Сизов К.Г. Технология и организация авиационного производства, М., Оборонгиз, 1960, № 4, с.43-48.
17. Согришин Ю.П. Исследование некоторых процессов вибрационной штамповки. Автореферат канд. диссертации, К., 1957.
18. Согришин Ю.П. Вибрационное деформирование металла. Metallovedenie i termoobrabotka metallov, 1959, № 1, с.55-57.
19. Шестаков С.Н., Карпов М.Я, Структура и свойства сплавов после вибрационного деформирования. Metallovedenie i obrabotka metallov. 1958, 7, с.35-39.
20. Neiman P. Strain Bursts and Coarse Slip During Cyclic Deformation. Zs. Metallkunde, 59, 1968, 12, p.927-933.
21. Winsper C.E., Sansome D.H. Fundamentals of Wire Drawing (Theoretical and Experimental Study of the Effects of Vibrating the Dye Longitudinally at 18,7khz, when Drawing Steel w/sec) J. of the Inst. of Metals, 97. 1969, 274p.
22. Blaha F., Langenecker B., Oelschlagel D. Zum plastischen Verhalten von Metallen unter Schalleiwirkung. Zs. Metallkunde, 1960, 51, 11, 636s.
23. Langenecker B., Colberg S.W. et al. Plastic Deformation in Zinc Single Crystals by Sound Waves. Bull. Am. Phys. Soc., 7, 1962, 362p.
24. Langenecker B. Crystals Plasticity in Macrosonic Fields. Bul. Am. Phys. Soc., 8, 1963, 288p.
25. Лангенекер Б. Способ упрочнения металлов. ЭИМТ, 1967, 45, с.24-43.

26. 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.
27. 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.
28. Рубаник В.В., Клубович В.В., Рубаник В.В. (мл.) Тепловизионные исследования обратного мартенситного превращения под действием ультразвуковых колебаний в TiNi // Матер. 2-й международной научно-технической конф. "Ультразвуковая техника и технология". Минск, 1999. - С. 97-101.
29. Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно-аналитическая теория прочности. - СПб.: Наука, 1993. - 471с.
30. Likhachev V.A. Theory of martensitic unelasticity of cristals // Journal de Physique IV. Colloque C1 suppl., 1996. - Vol.6. - P.321-333.
31. Тихонов А.С., Герасимов А.П., Прохорова И.И. Применение эффекта памяти формы в современном машиностроении. - М.: Машиностроение, 1981. - 80с.
32. 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.
33. Jackson C.M. et al. 55- Nitinol - the alloy with a Memory // Its Physical Metallurgy, Properties and Application, Washington, Technology Utilization Office NASA. 1972.86 p.
34. Рубаник В.В. Волочение проволоки из никелида титана с наложением продольных ультразвуковых колебаний. // Международный научный

- симпозиум молодых научных работников. Зелена Гура, Польша, Апрель 1996. - Сб. докл. Том 1: Механика, - с.61-65.
35. Северденко В.П., Горяев К.В. и др. Ультразвуковая обработка металлов. "Наука и техника", Минск, 1966.
36. Клубович В.В., Рубаник В.В., Рубаник В.В.(мл.) Генерация реактивных напряжений в TiNi под действием ультразвуковых колебаний.// Междун. научно-технич. Конф. "Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности": Тез. докл. конф. - Минск, 2000. - С.123.
37. Клубович В.В., Рубаник В.В., Рубаник В.В.(мл.) Инициирование эффектов мартенситной неупругости в TiNi сплавах с помощью УЗК. Труды 36 междун. Сем-ра "Актуальные проблемы прочности", сентябрь 2000.- Витебск, ВГТУ.- С.700-712.

