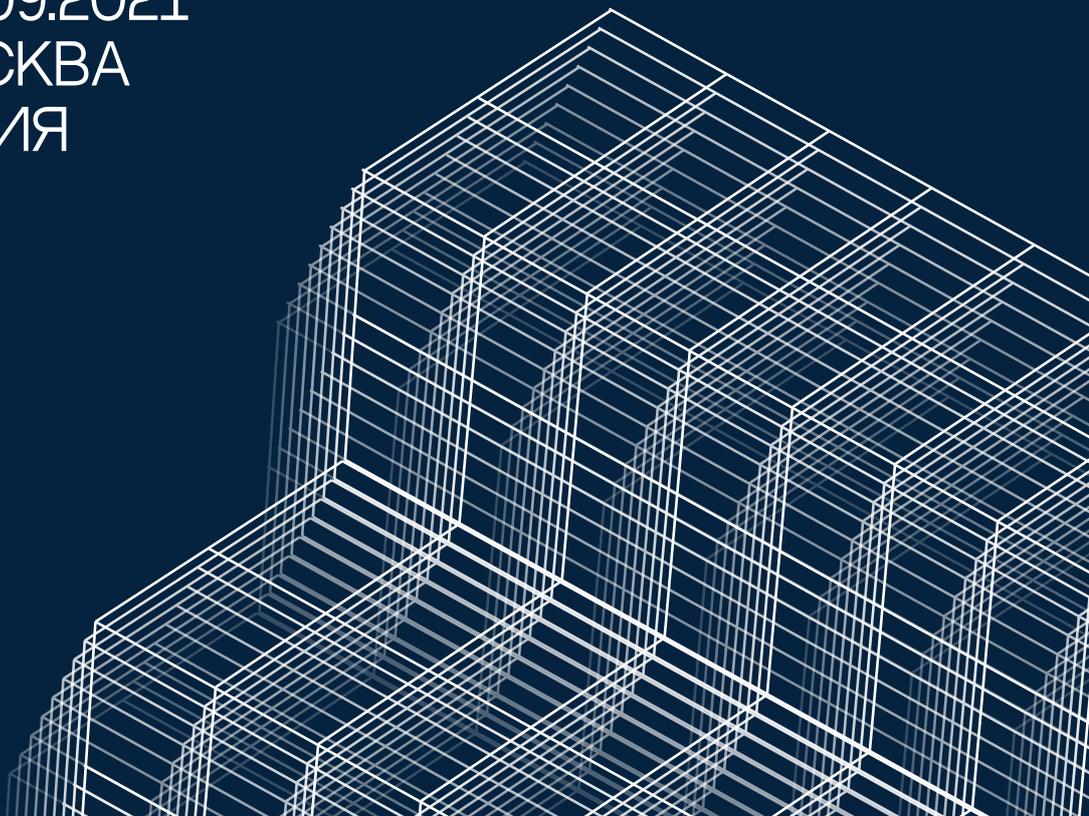


IV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

# СПЛАВЫ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ 2021

13-17.09.2021  
Г. МОСКВА  
РОССИЯ



**Четвёртая международная конференция  
«Сплавы с памятью формы»**



**IV Международная конференция**

**СПЛАВЫ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ**

**13-17 сентября, г. Москва, Россия**

**Сборник тезисов**

**13-17 сентября 2021 г.  
НИТУ «МИСиС», Москва**

IV Международная конференция «Сплавы с памятью формы»  
Москва 13-17 сентября 2021 г

**УДК 620.18:621.78**

**Четвёртая международная конференция «Сплавы с памятью формы». Москва. 13-17 сентября 2021 г. Сборник тезисов. – М: НИТУ «МИСиС», 2021, 100 с.**

**Материалы публикуются в авторской редакции.**

**ISBN 978-5-907227-83-5**

Четвёртая международная конференция «Сплавы с памятью формы» (СПФ 2021), продолжает традиции регулярных семинаров и конференций, посвященных сплавам с памятью формы, проводившихся в разных городах Советского Союза и России: Киев (1980, 1991), Воронеж (1982), Томск (1985), Новгород (1989), Косов (1991), Санкт-Петербург (1995). В настоящее время Первая конференция «Сплавы с памятью формы» прошла в 2014 году в Витебске (Беларусь), Вторая – в 2016 году в Санкт-Петербурге, Третья – в 2018 году в Челябинске.

Целью конференции является обзор направлений современных исследований и разработок в области сплавов с памятью формы и связанных с ними явлений: от исследования их структуры, физических, механических и функциональных свойств до математического моделирования поведения материалов с памятью формы и их применения. Работа конференции будет организована в виде устных и стендовых докладов в рамках трех секций:

- Структура, мартенситные превращения и эффекты памяти формы в сплавах.
- Теория мартенситных превращений и эффектов памяти формы: моделирование и расчет.
- Новые материалы. Технологии производства и применение сплавов с памятью формы.

#### **ОРГАНИЗАТОРЫ**

- Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
- Санкт-Петербургский государственный университет
- «Межгосударственный координационный совет по физике прочности и пластичности материалов»

**ИЗОТЕРМИЧЕСКОЕ ТЕРМОУПУГОЕ МАРТЕНСИТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ TiNi: МЕХАНИЗМЫ И ЭФФЕКТЫ МАРТЕНСИТНОЙ НЕУПРУГОСТИ**

**Беляев С.П.<sup>1</sup>, Реснина Н.Н.<sup>1</sup>, Демидова Е.С.<sup>1</sup>, Иванов А.М.<sup>1</sup>, Шеляков А.В.<sup>2</sup>,  
Андреев А.В.<sup>3</sup>, Габриелян А.Х.<sup>1</sup>, Пчельников П.А.<sup>1</sup>, Убийвовк Е.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, Санкт-Петербург  
<sup>2</sup>Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ» (Московский инженерно-физический институт), Россия, Москва  
<sup>3</sup>Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Россия, Москва  
*e-mail spbelyaev@mail.ru*

В работе рассматриваются особенности проявления термоупругих мартенситных переходов в двойных, тройных и четверных сплавах на основе TiNi в процессе выдержки при постоянных температуре и напряжении. Показано, что такие переходы имеют место только в сплавах с нестехиометрическим составом фазы TiNi. Предложен новый механизм, отвечающий за возможность реализации термоупругого прямого мартенситного перехода в сплаве TiNi в изотермических условиях. Предполагается, что дефекты замещения, в роли которых выступают атомы никеля и титана, занимающие чужие положения в подрешетках титана и никеля соответственно, или атомы легирующих элементов, препятствуют кооперативному сдвигу атомов, необходимому для перестройки аустенитной фазы в мартенситную. Поэтому для реализации прямого перехода необходимо обеспечить большую движущую силу, которая позволит преодолеть энергетический барьер, созданный дефектами замещения. При изотермической выдержке дефекты замещения мигрируют вследствие ненулевой подвижности атомов, что понижает барьер в локальной области сплава, в которой может выполняться термодинамическое условие превращения и образоваться мартенситный кристалл. Доля сплава, способная перейти в мартенсит в изотермических условиях, зависит от концентрации дефектов немонотонно и существует оптимальная концентрация, при которой наблюдается максимальное образование мартенсита. Таким образом, предложенный механизм подразумевает, что мартенситное превращение в сплавах на основе TiNi остается термоупругим, а его изотермическая кинетика контролируется термоактивируемым движением дефектов замещения.

Впервые обнаружено, что изотермическое термоупругое мартенситное превращение под напряжением сопровождается изменением обратимой деформации. Это явление наблюдали при выдержках в процессе реализации эффекта пластичности превращения, псевдоупругости, эффекта обратимой памяти формы. Выдержка в условиях фиксированной деформации приводит к релаксации напряжений. Показано, что величина обратимой изотермической деформации зависит от химического состава сплава, концентрации дефектов замещения, температурных интервалов прямого перехода при охлаждении и термосиловых условий, которые предшествовали изотермической выдержке.

*Работа выполнена при поддержке проекта РФФ №18-19-00226-П.*

**ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОБРАТИМУЮ ДЕФОРМАЦИЮ ПРИ  
ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ВЫДЕРЖКЕ СПЛАВА  $Ti_{40,7}Hf_{9,5}Ni_{41,8}Cu_8$**

**Пчельников П.А.<sup>1</sup>, Демидова Е.С.<sup>1</sup>, Беляев С.П.<sup>1</sup>, Реснина Н.Н.<sup>1</sup>, Шеляков А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ» (Московский инженерно-физический институт), Россия, Москва  
*e-mail st073586@student.spbu.ru*

Известно, что в ряде сплавов на основе TiNi возможно осуществить изотермическое образование мартенситной фазы в условиях выдержки при температурах, внутри температурного интервала прямого перехода. Более того, показано, что изотермическое образование мартенсита под действием постоянной нагрузки сопровождается изменением обратимой деформации. Стоит отметить, что изотермические эффекты были обнаружены только в сплавах с высокой концентрацией дефектов замещения, в частности в сплавах системы Ti-Hf-Ni-Cu, где атомы Hf и Cu частично замещают атомы сплава TiNi в подрешетке Ti и Ni соответственно. Изотермическое изменение деформации было изучено в сплаве  $Ti_{40,7}Hf_{9,5}Ni_{44,8}Cu_5$  и установлено, что максимальное значение изотермической деформации составляет 3,5 % при выдержке при температуре  $M_H^\sigma - 6^\circ C$  под нагрузкой 160 МПа. Поскольку изотермическое превращение зависит от концентрации дефектов замещения, то можно предположить, что и изотермическая обратимая деформация может зависеть от соотношения никеля и меди в четырёхкомпонентном сплаве. В связи с этим, целью работы являлось исследование изменения деформации в сплаве  $Ti_{40,7}Hf_{9,5}Ni_{41,8}Cu_8$  в условиях изотермической выдержки под различной постоянной нагрузкой при температуре выдержки  $M_K^\sigma < T^* < M_H^\sigma$  ( $M_H^\sigma$  и  $M_K^\sigma$  – температуры начала и конца прямого превращения под нагрузкой).

В качестве объекта исследования был выбран сплав  $Ti_{40,7}Hf_{9,5}Ni_{41,8}Cu_8$ , в котором ранее был обнаружен изотермический мартенситный переход. Образец охлаждали под нагрузкой до температуры выдержки, выдерживали в течение 60 минут и нагревали. Температуры выдержки выбирали внутри температурного интервала прямого перехода, напряжение меняли от 160 до 400 МПа. Полученные результаты показали, что в условиях изотермической выдержки сплава  $Ti_{40,7}Hf_{9,5}Ni_{41,8}Cu_8$  под нагрузкой внутри температурного интервала прямого перехода происходит увеличение обратимой деформации. Показано, что изменение изотермической деформации в  $Ti_{40,7}Hf_{9,5}Ni_{41,8}Cu_8$  качественно такое же, как в сплаве  $Ti_{40,7}Hf_{9,5}Ni_{44,8}Cu_5$ . Максимальная изотермическая деформация составила 3,2% и была получена в условиях выдержки при температуре  $M_H^\sigma - 6^\circ C$  под нагрузкой 240 МПа. Таким образом, можно заключить, что увеличение концентрации меди от 5 до 8 атомарных процентов в четырехкомпонентном сплаве  $Ti_{40,7}Hf_{9,5}Ni_{49,8-x}Cu_x$  не подавляет изотермического изменения деформации. Температура выдержки, соответствующая максимальному накоплению изотермической деформации, одинакова в этих сплавах, в то же время напряжение, при котором достигается максимум изотермической деформации, увеличивается, а сама деформация уменьшается. Поскольку ресурс обратимой деформации в сплавах  $Ti_{40,7}Hf_{9,5}Ni_{41,8}Cu_8$  и  $Ti_{40,7}Hf_{9,5}Ni_{44,8}Cu_5$  одинаков и составляет 8 %, можно заключить, что напряжение по-разному влияет на кинетику изотермического перехода, а потому максимум обратимой изотермической деформации различен и наблюдается при разных напряжениях.

*Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант № 18-19-00226).*

- Anshu Sahu, 25, 64  
Ashish K. Shukla, 64  
Bahrets D.A., 70  
Chashchina V.G., 46  
Do Hung Manh, 47  
Dorodeiko V.G., 70  
Hong Le, 52, 65  
Jayachandran S., 6, 14, 25, 42, 64  
Kameli P., 21  
Kashchenko M.P., 46  
Kashchenko N.M., 46  
Mani Prabu S.S., 6, 14, 42  
Manikandan M., 14  
Ngo Thi Hong Le, 47  
Nguyen Huy Dan, 47  
Palani I.A., 6, 14, 25, 42, 64  
Rubanik V.V., 70  
Rubanik V.V. jr., 70  
Sahu Anshu, 14  
Sarsari I.A., 21  
Shalini Singh, 25, 42, 64  
Shukla A.K., 25  
Urban V.I., 70  
Uzhekina A.N., 70  
Varzaneh A.G., 21  
VU Hong Ky, 47  
Алиев А.М., 21  
Алимов И.А., 5, 94  
Альчибаев М.В., 6  
Андреев А.В., 13, 41  
Андреев В.А., 7, 8, 20, 39, 43, 50, 51, 54  
Андреев Н.В., 91  
Аникеев С.Г., 9, 10, 45  
Артюхова Н.В., 9, 10, 45  
Ашимбаев Д.А., 93  
Байгонакова Г.А., 56  
Балаев Э.Ю., 15  
Баранова А.П., 11  
Барилюк Д.В., 49  
Бармина Е.Г., 33  
Батдалов А.Б., 21  
Белоусов Н.Н., 12  
Беляев С.П., 6, 13, 14, 20, 25, 28, 39, 42, 64,  
66, 68, 73, 86  
Беляев Ф.С., 67, 76  
Бикбаев Р.М., 14, 42  
Бледнова Ж.М., 15, 71  
Бондарева С.А., 7, 8  
Бородако К.А., 16, 75, 91  
Браиловский В., 51, 92  
Бучельников В.Д., 21, 29  
Быбик М.С., 41  
Васильев М.Г., 59  
Власова К.Ю., 80  
Волков А.Е., 17, 67, 76  
Волков Г.А., 12  
Волкова Н.А., 17  
Володько С.С., 18, 19, 55, 94, 95  
Волочаев М.Н., 9, 45  
Вуколов Е.А., 17  
Вьюненко Ю.Н., 12  
Габриелян А.Х., 13, 20, 39  
Галкин С.П., 54  
Гамзатов А.Г., 21  
Гарин А.С., 9, 45  
Гирсова Н.В., 53  
Гирсова С.Л., 62  
Гришков В.Н., 32, 33, 53  
Гундеров Д.В., 24, 27, 87  
Гусаренко А.А., 32, 53  
Гуцев В.И., 55  
Гюнтер В.Э., 9, 45  
Демидова Е.С., 13, 25, 66  
Денисенко В.Л., 26  
Денисенко Э.В., 26  
Деркач М.А., 27  
Дородейко В.Г., 74  
Дубинский С.М., 11, 40  
Евард М.Е., 67, 76  
Егоров П.А., 28, 68  
Ерагер К.Р., 29  
Ефтифеева А.С., 31, 60, 96  
Жапова Д.Ю., 32, 33  
Жердева М.В., 34  
Жителев П.С., 35  
Житенев А.И., 35  
Жуков Н.В., 35  
Жукова Ю.С., 36, 40  
Жуковская М.И., 16  
Залетова И.А., 37, 75, 91  
Зарипова М.М., 38  
Зуев О.Э., 81  
Иванкина Т.И., 55  
Иванов А.М., 13, 20, 39  
Иванова А.Б., 68  
Иржак А.В., 47  
Исаенкова М.Г., 38  
Кавалла Р., 48  
Кадиров П.О., 40  
Казьмин А.А., 69  
Калашников В.С., 41  
Калганов В.Д., 25, 64  
Калиничева В.А., 92  
Караваева М.А., 40  
Караман И., 78  
Карасева У.П., 42  
Карелин Р.Д., 7, 8, 43, 48, 50  
Карпухин Д.А., 52, 65

- Касимцев А.В., 19, 94, 95  
Кафтаранова М.И., 9, 45  
Кашин О.А., 53  
Кашина О.Н., 33  
Коледов В.В., 16, 41, 47, 52, 57, 58, 65  
Колобов Ю.Р., 84  
Комаров В.С., 43, 48, 50, 63  
Конопацкий А.С., 49, 80  
Копылов В.И., 53  
Коробенков М.В., 10  
Коротицкий А.В., 19  
Косячкова Т. Р., 50  
Кривошеев С.И., 79  
Круковский К.В., 53  
Крымов В.М., 59  
Кудряшова А.А., 51  
Кузнецов Д.Д., 52, 65  
Кулак М.М., 86  
Курапов Г.В., 15, 71  
Курлевская И.Д., 85  
Кучин Д.С., 41  
Лайшева Н.В., 7, 8  
Лаптев Р.С., 33, 53  
Лега П.В., 47, 52, 65  
Ломыгин А., 33  
Лотков А.И., 32, 33, 53, 62  
Лукашевич К.Е., 54, 92  
Луничкин А.М., 16  
Луцко В.Ф., 69  
Магазинов С.Г., 79  
Мамазакиров О.Р., 9, 10, 45  
Маркова Г.В., 19, 55  
Марченко Е.С., 56, 78  
Метлов Л.С., 57, 58  
Мионов Ю.П., 33, 53  
Морозов Е.В., 57, 58  
Мурыгин С.Р., 63, 93  
Несоленов А.В., 41  
Нечаев Д.В., 35  
Николаев В.И., 59, 81  
Носов Ю.Г., 59  
Одинцова Г.В., 84  
Орлов А.П., 47, 52, 65  
Осинцев А.В., 38  
Остропико Е.С., 69, 79  
Панченко Е.Ю., 31, 34, 60, 78, 82, 85, 96  
Перевезенцев В.Н., 84  
Перкова Т.Ю., 67  
Петрова-Буркина О.А., 61, 94  
Пломодьяло Р.Л., 15  
Полетика Т.М., 62  
Полякова К.А., 63, 72  
Поникарова И.В., 28, 64, 68  
Попова Д.В., 80  
Прокошкин С.Д., 11, 27, 36, 40, 43, 48, 49, 50, 51, 54, 84, 92  
Прокунин А.В., 47, 52, 65  
Прوماхов В.В., 9, 10, 45  
Пульнев С.А., 81  
Пустов Ю.А., 36, 40  
Пчельников П.А., 13, 66  
Рааб Г.И., 27  
Разов А.И., 69  
Рахимов Т.М., 68  
Ребров Т.В., 67  
Реснина Н.Н., 6, 13, 14, 20, 25, 28, 39, 42, 64, 66, 68, 72, 73, 86  
Рубаник В.В., 26, 61, 69, 74, 86, 94  
Рубаник В.В. мл., 26, 61, 69, 74, 86, 94  
Русинов П.О., 15, 71  
Рыклина Е.П., 63, 72, 93  
Сибирев А.В., 6, 73  
Симова С.Н., 74  
Ситников Н.Н., 37, 75, 91  
Соколовский В.В., 29  
Стародубова М.С., 76  
Столяров В.В., 77  
Сундеев Р.В., 75  
Суриков Н.Ю., 60, 96  
Табачкова Н.Ю., 68, 91, 95  
Тагильцев А.И., 60, 78  
Теплякова Т.О., 80  
Тимашов Р.Б., 81  
Тимкин В.Н., 32, 33, 53  
Тимофеева Е.Е., 34, 60, 78, 82  
Тихомирова К.А., 83  
Токмачева-Колобова А.Ю., 84  
Тохметова А.Б., 60, 85  
Убийвовк Е.В., 13, 68  
Усенко А.А., 93  
Фаткуллин И.Д., 78  
Фесенко В.А., 38  
Филонов М.Р., 36  
Хизриев Ш.К., 21  
Хлопков Е.А., 12  
Хмелевская И.Ю., 43, 48, 50  
Ховайло В.В., 21  
Ходоренко В.Н., 9, 45  
Цатурянц М.С., 92  
Чепела Д.В., 86  
Черкасов В.В., 48  
Чикиряка А.В., 59  
Чумляков Ю.И., 31, 34, 60, 78, 82, 85, 96  
Чуракова А.А., 27, 87  
Шавров В.Г., 41, 47, 52, 57, 58, 65  
Шандрюк Г.А., 52  
Шеляков А.В., 13, 16, 37, 66, 75, 91  
Шереметьев В.А., 27, 40, 51, 54, 92  
Шिशелова А.А., 56

IV Международная конференция «Сплавы с памятью формы»  
Москва 13-17 сентября 2021 г

**Юдин С.Н.**, 19, 94, 95  
**Юркова А.**, 15  
**Юсупов В.С.**, 7, 8, 43, 48, 50

**Янушоните Э.И.**, 31, 60, 96  
**Янченко М.В.**, 12  
**Япарова Е.Н.**, 68

IV Международная конференция «Сплавы с памятью формы»  
Москва 13-17 сентября 2021 г

## **СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ**

**Четвёртая международная конференция  
«Сплавы с памятью формы»**

**Материалы опубликованы в авторской редакции**

Отпечатано в типографии  
Издательского Дома НИТУ «МИСиС»,  
119049, Москва, Ленинский пр-т, 4  
Тел. 8 (495) 638-44-16, 8 (495) 638-44-43

