

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Дубинского Сергея Михайловича «Механизмы аномалии термомеханического поведения сплавов с памятью формы на основе Ti-Ni и Ti-Nb-Zr и возможности управления ими», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. - «Физика конденсированного состояния»

Представленная работа посвящена изучению особенностей строения и свойств кристаллических фаз и закономерностей фазовых и структурных (внутрифазовых) превращений, объясняющих атомные механизмы аномальных явлений, оказывающих значимое влияние на физические и функциональные свойства двухкомпонентных и трехкомпонентных сплавов на основе Ti-Ni и Ti-Zr-Nb с памятью формы. Исследования в области физики конденсированного состояния являются фундаментом для создания новых функциональных материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками.

Недостаточная изученность большого спектра возможных структурно-фазовых состояний в высокотемпературных фазах, получаемых в ходе термомеханической обработки сплавов на основе Ti-Ni и Ti-Zr-Nb, отсутствие понимания особенностей действия механизмов и  $\beta \rightarrow \omega$  превращения и образования изотермической  $\omega$ -фазы в сплавах на основе Ti-Zr-Nb, а также высокая практическая значимость такого рода работ делают настоящее исследование особенно актуальным и представляют научный и практический интерес.

В качестве наиболее важных результатов работы, полученных при помощи современных тонких структурных исследований, следует отметить следующие:

1. Получены и проанализированы все возможные структурные состояния высокотемпературных фаз, получаемые в ходе термомеханической обработки сплавов с памятью формы систем Ti-Ni и Ti-Zr-Nb по схеме «холодная прокатка (ХП) и последеформационный отжиг (ПДО)».

2. Доказано существование критического размера зерна необходимого для протекания мартенситных  $B2 \rightarrow B19'$  и  $\beta \rightarrow \alpha''$  превращений под напряжением в сплавах систем Ti-Ni и Ti-Zr-Nb и мартенситного  $\beta \rightarrow \alpha''$  превращения при охлаждении в СПФ Ti-Zr-Nb. В нанозеренном СПФ Ti-Ni он составляет  $4,5 \pm 0,8$  нм для конкретных условий деформации при комнатной температуре растяжением до 4% и напряжении 1500 МПа, что на порядок меньше критического размера зерна для образования  $B19'$ -

мартенсита при охлаждении. В СПФ Ti-18Zr-14Nb критический средний размер зерна  $\beta$ -фазы для мартенситного  $\beta \rightarrow \alpha''$  превращения под напряжением составляет  $36 \pm 13$  нм для превращения при комнатной температуре. Это значение на порядок больше, чем для сплава с памятью формы Ti-Ni. Критический размер зерна для превращения  $\beta \rightarrow \alpha''$ , вызванного охлаждением, определен как  $\sim 250$  нм, что также примерно на порядок больше, чем для сплава Ti-Ni.

Судя по автореферату, результаты работы представляются достоверными, поскольку они прошли апробацию на многочисленных российских и международных конференциях, опубликованы в рецензируемых журналах.

В качестве замечания, не снижающего основную ценность работы, хотелось бы отметить следующее.

В автореферате на рис. 5.7 приведены температурные зависимости модуля Юнга  $E$  сплава Ti-22Nb-6Zr в Р состоянии, полученные с помощью механических испытаний, экспериментов с крутильным маятником и численного моделирования для  $\beta$ -фазы Ti-22Nb-6Zr с использованием подхода Фойхта. Желательно было бы для сравнения представить данные по определению модуля Юнга  $E$  на основе механических испытаний при одноосном сжатии или растяжении на этом же сплаве. Поскольку, в сплавах с термоупругими мартенситными превращениями в предпереходных температурных областях уже при деформации в упругой области модуль Юнга может зависеть от схемы нагружения образцов.

В целом диссертация Дубинского Сергея Михайловича выполнена на высоком уровне. В работе получены ценные научные результаты. Работа соответствует требованиям ВАК и может быть представлена к защите по специальности 1.3.8. - физика конденсированного состояния, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Я, Клопотов Анатолий Анатольевич, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Дубинского Сергея Михайловича

Я, Марченко Екатерина Сергеевна, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Дубинского Сергея Михайловича

Клопотов Анатолий Анатольевич, профессор,  
доктор физико-математических наук,  
по специальности 01.04.07 -  
физика конденсированного состояния.  
Профессор, кафедры  
«Прикладная механика и материаловедение»  
ФГБОУ ВО «ТГАСУ» (специальность 01.04.07 –  
физика конденсированного состояния)  
Адрес: ТГАСУ, кафедра ПМиМ, 634003,  
г. Томск, пл. Соляная, 2.  
Тел: +7 (3822) 65-45-65,  
e-mail: [klopotovaa@tsuab.ru](mailto:klopotovaa@tsuab.ru),



Клопотов А.А.

Марченко Екатерина Сергеевна, доцент,  
доктор физико-математических наук,  
по специальности 01.02.04 -  
механика деформируемого твердого тела.  
Заведующий лабораторией медицинских сплавов и имплантатов с памятью  
формы ФГАОУ ВО «НИ ТГУ»  
Адрес: НИ ТГУ, 634050,  
г. Томск, пр. Ленина, 36.  
Тел: +7 (3822) 529-636,  
e-mail: [89138641814@mail.ru](mailto:89138641814@mail.ru)



Марченко Е. С.

Подпись А.А. Клопотова и Е.С. Марченко заверяю

09.09.2024

Почтовый адрес организации:  
634045, Томск, пр. Ленина, д. 36  
Тел: (3822) 785-669  
Электронная почта: [support@accounts.tsu.ru](mailto:support@accounts.tsu.ru)



Подпись удостоверяю  
ведущий документовед  
Андреев И. В.

