

ОТЗЫВ

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

Сплавы с эффектами памяти формы (ЭПФ) и сверхэластичности на основе титана в настоящее время являются наиболее перспективными материалами для применения в медицине. В основе ЭПФ и сверхэластичности лежат термоупругие мартенситные превращения (МП). Эти сплавы на основе титана представлены двумя группами: сплавы на основе интерметаллида TiNi с упорядоченной решёткой по типу CsCl и сплавы на основе неупорядоченных твёрдых растворов таких систем как Ti-Nb, Ti-Zr, Ti-Ta, Ti-Mo, Ti-Hf, которые проявляют эффект сверхупругости и состоят только из биосовместимых металлов. Эти сплавы разрабатывались в связи с тем, что сплавы на основе TiNi содержат в своём составе токсичные для клеток живого организма ионы Ni. Объединяет эти две группы сплавов то, что в основе термоупругих МП в них лежит аллотропное превращение титана. Исследования последних 10-15 лет выявили, что наиболее перспективной композицией в указанных выше неупорядоченных твёрдых растворах на основе титана является Ti-18Zr-(14–15)Nb (ат. %). Эти сплавы обеспечивают значительный кристаллографический ресурс обратимой неупругой деформации (около 6 %), который почти в 2 раза меньше, чем в сплавах на основе TiNi, но вполне достаточен для практического использования. Вместе с тем, несмотря на длительный период исследований сплавов на основе TiNi, что обусловлено большими возможностями для решения фундаментальных задач физики конденсированного состояния, до сих пор эти сплавы и происходящие в них процессы фазовых и структурных превращений представляют высокий научный и практический интерес. Влияние изменения химического состава и термомеханических обработок (ТМО), в том числе интенсивных пластических деформаций, на проявление ЭПФ и сверхэластичности в этих двух группах сплавов является предметом многолетних исследований. Однако остаются значимые пробелы в понимании физической природы ряда эффектов проявления функциональных свойств этих сплавов, которые наблюдаются при изменении их структурно-фазового состояния. Поэтому **актуальность** выявления особенностей строения и свойств кристаллических фаз и закономерностей фазовых и структурных превращений, объясняющих атомные механизмы аномальных эффектов проявления функциональных свойств, оказывающих значимое влияние на физические и функциональные свойства сплавов с памятью формы на основе TiNi и на основе системы Ti-Zr-Nb не вызывает сомнений.

В качестве **научной новизны** диссертационной работы Дубинского С. М. можно отметить следующие результаты.

1. Предложена и обоснована результатами статистического анализа темнопольных электронномикроскопических изображений и особенностей электронной дифракции градиация нанокристаллических структур, образовавшихся в результате термомеханической обработки в сплавах с эффектом памяти формы и сверхэластичности на основе TiNi и системы Ti-Zr-Nb, на преимущественно нанозёрную, преимущественно наносубзёрную и смешанную наносубзёрную + нанозёрную структуры. Выявлены термомеханические условия формирования этих типов наноструктур.
2. Впервые экспериментально доказано существование минимального критического размера зерна аустенита для реализации мартенситного превращения под воздействием приложенного внешнего напряжения и определена его величина в сплавах с эффектом памяти формы и сверхэластичности на основе Ti-Ni и системы Ti-Zr-Nb, а в сплавах

системы Ti-Zr-Nb – и для мартенситного превращения при охлаждении. Обнаружено, что критический размер зерна для реализации МП под действием приложенного внешнего напряжением оказался на порядок меньшим, чем для реализации МП при охлаждении.

Необходимо отметить, что для получения этих весьма интересных, важных и, я бы сказал, изящных результатов необходимы высокая научная квалификация при выборе составов сплавов, умение и терпение в преодолении технологических проблем при подготовке образцов для исследования, высокий уровень владения современными экспериментальными методами исследований и обладание большим опытом в анализе полученных результатов.

Научная и практическая значимость диссертационной работы Дубинского С. М. не вызывает сомнений и эта часть работы хорошо отражена в автореферате.

В качестве **замечаний** по автореферату можно отметить следующее.

- На странице 10 автореферата написано «В первой главе на примере сплава Ti-Ni ...». Однако написание Ti-Ni не обозначает какого-то сплава конкретного состава. Оно обозначает систему сплавов титана и никеля.

- В автореферате так же, как и во многих научных публикациях, посвящённых исследованию этих сплавов, довольно часто используется термин «явление». Считаю, что этот термин используется не по назначению и вместо него следовало бы использовать термин «эффект».

Эти замечания не снижают высокую оценку диссертационной работы Дубинского С. М. «Механизмы аномалий термомеханического поведения сплавов с памятью формы на основе Ti-Ni и Ti-Nb-Zr и возможности управления ими». Диссертационная работа Дубинского С.М. выполнена на высоком научном уровне с использованием современного научного и технологического оборудования, она апробирована на всероссийских и международных конференциях, результаты опубликованы как в российских, так и в зарубежных рецензируемых высокорейтинговых научных журналах и является крупным научным достижением.

Диссертационная работа С.М. Дубинского по своему теоретическому, научно-методическому и экспериментальному уровню, объёму работы, актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям Положением о порядке присуждения ученых степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», а её автор Сергей Михайлович Дубинский заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Советник директора по научно-организационным вопросам,
главный научный сотрудник лаборатории материаловедения сплавов с памятью формы
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики
прочности и материаловедения Сибирского Отделения Российской академии наук
доктор физико-математических наук,
профессор

А.И. Лотков

«16» августа 2024 г.

Подпись профессора Лоткова А.И. заверяю.

Учёный секретарь ИФПМ СО РАН,

кандидат физико-математических наук

Адрес: 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4,

тел. (3822)492696, e-mail: lotkov@ispms.tsc.ru

Лотков А.И. согласен на обработку персональных данных.

