



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИФМ УрО РАН,
академик РАН

Н.В. Мушников

« 10 » 09 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Семина Виктора Олеговича на тему «Структура и свойства поверхностных сплавов, сформированных путем импульсного электронно-пучкового плавления систем «Ti-Ta пленка/подложка TiNi»», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации

Сплавы с уникальными механическими свойствами и эффектами памяти формы на основе никелида титана являются одними из немногих, широко применяемых в технике и в медицине, особенно в ряде прорывных особо важных специальных направлений. Для сплавов никелида титана, ориентированных на практическое применение, все более важной и актуальной становится и проблема получения и изучения специальных приповерхностных слоев, модифицированных различными методами. Данные работы, основанные на аддитивных технологиях, имеют особое значение, поскольку при использовании изделий из них обязательными являются требования к комплексу их механической прочности, пластичности, коррозионной стойкости, биосовместимости. При этом важным также является создание безникелевых барьерных приповерхностных слоев и покрытий, препятствующих выходу в биосреду токсичных ионов химических элементов. Металлургические, структурные, фазовые и кристаллографические закономерности формирования таких микрокомпозитных материалов и их свойства практически не изучены. В связи с этим диссертационная работа Семина В.О., посвященная синтезу и комплексному исследованию фазового состава, структуры и свойств приповерхностных сплавов, сформированных путем импульсного электронно-пучкового плавления систем «Ti-Ta пленка/подложка TiNi», безусловно, является актуальной.

Структура и основное содержание диссертационной работы

Диссертационная работа Семина В.О. состоит из введения, восьми разделов, выводов, списка литературы из 292 цитируемых источников. Во введении обоснована актуальность темы и степень разработанности диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, описаны научная новизна результатов, их теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, достоверность и обоснованность, а также представлены положения, выносимые на защиту. Основное содержание диссертации представлено в 18 научных публикациях, в том числе в 10 статьях, из них в 2 статьях в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, 8 статьях в зарубежных журналах, включенных в библиографические базы данных цитирования Web of Science и Scopus. Диссертация содержит 209 страниц текста, 66 рисунков и 9 таблиц.

В литературном обзоре (разделы 1-3) диссертант обсуждает современное состояние проблемы фазовых мартенситных превращений, их кристаллогеометрии, анализирует эффекты памяти формы, результаты исследований структуры, фазовых превращений и свойств сплавов на основе Ni-Ti и Ti-Ta. Подробно анализируются проблемы синтеза поверхностных сплавов и модификации поверхностных слоев металлических материалов

« 19 » 09 2018 г.
вх. № 19
индекс

с использованием электронно-пучковых и ионно-плазменных технологий. Отдельно достаточно подробно рассмотрены принципы и критерии получения аморфных металлических сплавов.

В четвертом методическом разделе представлено описание исследованных материалов, методов их поверхностной обработки и методик исследований. Изложены методы синтеза, структурного, фазового и элементного анализа материалов, отмечены химические особенности осаждения и импульсного плавления приповерхностных слоев, ОЖЕ-спектроскопии, электронно-микроскопического на просвет (ПЭМ) и отражение (РЭМ) исследований, измерений механических свойств и пробоподготовки образцов.

Оригинальная часть работы и обсуждение ее результатов представлены в разделах 5-8: электронно-пучковая обработка поверхности сплавов на основе никелида титана; структура поверхностных сплавов (ПС), сформированных путем импульсного электронно-пучкового плавления систем «пленка/подложка» на поверхности сплава TiNi; структура атомного ближнего порядка в поверхностных сплавах, содержащих аморфную фазу, исследованная с помощью электронной нанодифракции; оценка стеклообразующей способности и механических свойств слоевых композиционных материалов на основе Ti-Ni и Ti-Ta-Ni. Диссертация завершается выводами, в которых сформулированы основные результаты исследований.

Научная новизна результатов диссертационной работы

В работе получен ряд новых и важных научных и методических результатов. К наиболее существенным результатам относятся следующие:

- Впервые методами электронно-пучкового тонкопленочного синтеза на поверхности сплава TiNi сформированы тонкие (толщиной 1-2 мкм) слои трехкомпонентных Ti-Ta-Ni сплавов с высокотемпературным эффектом памяти формы.
- Впервые изучена структура поверхностных сплавов, сформированных в результате тонкопленочного синтеза систем «Ti-(30 ат.%)Ta пленка/подложка TiNi» и «Ti-(40 ат.%)Ta пленка/подложка TiNi», и выявлены новые закономерности изменения элементного и фазового составов. Получены новые представления о последовательности, типе и характере распределения структурно-фазовых состояний в поверхностных слоях TiNi сплава после воздействия НСЭП.
- Впервые с применением методов электронной нанодифракции изучена структура атомного ближнего порядка в аморфном поверхностном сплаве. Предложена модель, описывающая топологический ближний порядок в таком сплаве, с применением координационных многогранников (кластеров), характерных для кристаллических фаз. Сформулированы структурный и геометрический критерии формирования аморфной и аморфно-нанокристаллической структуры в поверхностных Ti-Ta-Ni сплавах.
- Проведена оценка склонности к аморфизации сплавов системы Ti-Ta-Ni с помощью термодинамической модели Miedema. Представлены экспериментальные подтверждения результатов термодинамического моделирования аморфизации поверхностных сплавов систем Ti-Ta-Ni, в которых содержание аморфизирующего элемента (никеля) находится в пределах от 15 до 43 ат.%.
 • Оценена степень влияния поверхностной обработки (НСЭП обработка, синтез поверхностных сплавов) на функциональные свойства TiNi сплавов и систем «поверхностный Ti-Ta-Ni сплав/подложка TiNi».

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы

Фундаментальные результаты, полученные в диссертации, развивают и расширяют представления физики конденсированного состояния о физических явлениях, механизмах и закономерностях формирования высоконервновесных аморфизированных и нанокристаллических субструктур в приповерхностных слоях композитной системы Ti-Ta-Ni при сверхбыстрой закалке из расплава в результате многократного облучения импульсным низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком.

Разработанные методы локального наноанализа по электронно-дифракционным картинам и определения функции радиального распределения атомов и параметров ближнего атомного порядка могут быть использованы специалистами при постановке и выполнении исследований и в образовательных курсах университетов по соответствующим специальностям.

Сформулированные в диссертации полуэмпирические критерии формирования стабильных аморфных и аморфно-нанокристаллических структур могут быть использованы для предсказания составов склонных к аморфизации сплавов в интерметаллических системах переходных металлов. Обоснованы режимы синтеза поверхностных сплавов, обеспечивающие формирование в поверхностных слоях аморфно-нанокомпозитной, кристаллической и аморфной структур. На основании исследований неупругих свойств систем «поверхностный Ti-Ta сплав/подложка TiNi» сделано заключение о целесообразности применения использованных поверхностных обработок для сплавов на основе Ti-Ni с эффектами памяти формы и сверхупругости.

Достоверность и обоснованность результатов исследования

Достоверность и научная обоснованность полученных результатов, выводов и положений определяются применением современных апробированных методов и подходов, модельных представлений, комплексным исследованием на современном сертифицированном экспериментальном оборудовании, воспроизводимостью и соответствием известных данных с результатами, полученными автором разными взаимодополняющими методами.

Апробация работы

Результаты работы широко обсуждались на многочисленных профильных научных конференциях, хорошо представлены в достаточном количестве публикаций в ведущих рецензируемых отечественных и зарубежных научных изданиях с высоким импакт-фактором, что свидетельствует об их международном признании. Автореферат работы полно воспроизводит содержание диссертации. Содержание диссертации соответствует указанной специальности. Диссертационная работа выполнена в рамках двух проектов РФФИ.

Замечания по диссертационной работе

1. Прекрасный объемный литературный обзор, тем не менее, в отличие от традиционной канонической структуры, представлен 3 различными разделами, что несколько необычно и во всяком случае не мотивировано автором.

2. Остается неясным, на каком количестве и с какой статистической достоверностью и размерно-пространственной локализацией было определено зонирование (слоистость) градиентной структуры с различным структурно-фазовым состоянием поперек к поверхности воздействия.

3. Не обсуждается и не представлены исследования влияния изменения режимов синтеза приповерхностных слоев (например, количества циклов для одного поверхностного сплава, варьирование состава легирующей «пленки» и т.п.) на особенности зонирования.

4. На рис. 6.12, например, представлены немонотонные по глубине концентрационные профили элементного состава. В связи с этим возникает вопрос, является ли наблюдаемая немонотонная зависимость элементного состава по глубине поверхностного слоя следствием погрешности измерения или отражает химические нанонеоднородности вследствие процесса синтеза. Как воспроизводились данные изменения при повторных измерениях?

Указанные замечания не снижают ценности диссертационной работы и ее высокой положительной оценки.

Общая оценка диссертационной работы

В целом диссертационная работа Семина В.О. «Структура и свойства поверхностных сплавов, сформированных путем импульсного электронно-пучкового плавления систем «Ti-Ta пленка/подложка TiNi»» является законченной научно-квалификационной работой,

в которой получены важные теоретические и экспериментальные результаты. Диссертация имеет все необходимые разделы от постановки задачи, методов их решения до результатов расчетов и экспериментов, их анализа и выводов. Материалы работы представлены в большом числе публикаций. Автореферат диссертации и публикации полно и правильно отражают содержание работы. Диссертационное исследование Семина Виктора Олеговича соответствует пунктам 1 и 4 паспорта специальности 01.04.07.

Заключение

Диссертационная работа «Структура и свойства поверхностных сплавов, сформированных путем импульсного электронно-пучкового плавления систем «Ti-Ta пленка/подложка TiNi»» соответствует всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Семин В.О. заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа и отзыв обсуждены на научном семинаре лаборатории цветных сплавов ИФМ УрО РАН 9 июля 2018 г. (протокол № 7).

Главный научный сотрудник
лаборатории цветных сплавов
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института физики металлов имени
М.Н. Михеева Уральского отделения
Российской академии наук
(ИФМ УрО РАН),
рук. отдела электронной микроскопии,
доктор физ.-мат. наук, профессор



Пушин Владимир Григорьевич

Почтовый адрес: 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18
Тел.: (343)378-35-54
E-mail: pushin@imp.uran.ru

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании ученого совета ИФМ УрО РАН 11 июля 2018 г. (протокол № 14).

Учёный секретарь ИФМ УрО РАН
кандидат физ.-мат. наук



Арапова Ирина Юрьевна