МИНОБРНАУКИ РОССИИ
МИСиС
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»
(НИТУ «МИСиС»)
119049, Москва, Ленинский проспект, 4
Тел. 955-00-32; Факс: 236-21-05
http://www.misis.ru
E-mail: kancela@misis.ru
ОКПО 02066500 ОГРН 1027739439749
ИНН/КПП 7706019535/ 770601001
24.11.2015 № 128-9а/1592
На №

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор НИТУ «МИСиС»
по науке и инновациям,
профессор, д.т.н. М.Р. Филонов
__ 2015 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертационной работе Пушина Артема Владимировича «Разработка и исследование объемных и длинномерных наноструктурных высокопрочных материалов на основе тройных титановых сплавов с эффектами памяти формы», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы диссертации

В последние годы все большее внимание уделяется исследованию функциональных сплавов, проявляющих эффекты памяти формы (ЭПФ) и сверхупругости, применение которых динамично развивается в различных отраслях общей и медицинской техники. Наиболее высокий комплекс функциональных свойств из сплавов этого класса демонстрируют сплавы с памятью формы на основе никелида титана, сочетающие высокие механические и функциональные (ЭПФ и сверхупругость) свойства, в том числе усталостные, (механоциклическая, термомеханическая и термоциклическая долговечность), теплостойкость, коррозионную стойкость, биомеханическую и биохимическую совместимость. Сплавы с памятью формы способны легко деформироваться до весьма высоких степеней деформации и после этого полностью или частично восстанавливать исходную форму при однократных и многократных циклических изменениях температуры или механического напряжения. Развитие современной техники выдвигает высокие требования к функциональным свойствам сплавов с памятью формы сплавов никелида титана, которые могут быть удовлетворены только путем создания специальных

структурных состояний с помощью в основном нетрадиционных методов обработки. В частности, в последнее время в металловедении сплавов с памятью формы интенсивно развивается научное направление, нацеленное на создание технологий получения объемных и длинномерных продуктов из сплавов с памятью формы посредством прецизионного легирования, закалки расплава или мегапластической деформации.

Таким образом, диссертационная работа А.В.Пушина, в которой исследованы сплавы с памятью формы двух практически важных, но сравнительно мало изученных трехкомпонентных систем Ti-Ni-Cu и Ni-Ti-Hf, испытывающие термоупругие мартенситные превращения (ТУМП) и проявляющие высокотемпературные ЭПФ и сверхупругость, безусловно актуальна. Комплексное изучение структуры, превращений и свойств объемных и длинномерных продуктов из указанных ориентировано на создание в них высокопрочных ультрамелкозернистых (УМЗ), субмикро- и нанокристаллических, состояний. Оно служит научной базой для разработки новых и усовершенствования существующих режимов обработок, обеспечивающих реализацию заранее заданных функциональных характеристик, необходимых при практическом применении данных материалов.

Структура и основное содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, содержит 161 страницу текста, 110 рисунков, 23 таблицы, 13 формул и список цитированной литературы из 148 наименований.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, ее разработанность, сформулированы цель и основные задачи исследований, описаны научная новизна результатов, теоретическая и практическая значимость, методологические основы и методы исследований, достоверность, вклад автора, апробация работы, ее связь с научными программами и проектами, перечислены положения, выносимые на защиту и показано соответствие диссертации паспорту специальности.

В первой главе представлен обзор современного состояния экспериментальных и теоретических исследований мартенситных превращений, их структурных механизмов и кинетики, структуры и свойств изучаемых сплавов. Рассмотрено влияние легирования и методов синтеза сплавов с памятью формы на основе Ti-Ni, включая УМЗ модификации, на их структуру и свойства. Обсуждены возможные применения сплавов с памятью формы в технике и медицине. На основе литературного обзора сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена описанию исследованных материалов, методов их получения, режимов термообработки, методик проведения исследований структуры и фазовых превращений, испытаний механических и функциональных свойств сплавов с памятью формы.

В третьей главе представлены результаты изучения формирования структуры, фазовых превращений и свойств квазибинарных сплавов системы TiNi-TiCu (Cu≤ 25 ат.%) прецизионных составов.

В четвертой главе рассмотрено влияние закалки расплава на структуру, фазовые превращения и свойства сплавов системы TiNi-TiCu.

В пятой главе приведены результаты исследования влияния отклонения химического состава от стехиометрического $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ по титану и никелю или по титану и меди на структуру, фазовые превращения и свойства сплавов, полученных закалкой расплава.

Шестая глава посвящена детальному анализу особенностей структуры, фазовых превращений в обычных и полученных закалкой расплава тройных сплавах Ni-Ti-Hf с высокотемпературным ЭПФ.

В седьмой главе рассмотрены механические и функциональные свойства исследованных сплавов с памятью формы, представляющие наибольший интерес с точки зрения их применения, и обсуждаются возможности их практического использования.

В Заключении диссертации сформулированы выводы, основанные на результатах исследований. Все представленные в диссертации экспериментальные данные соответствуют целям и задачам диссертационной работы.

Научная новизна результатов диссертационной работы

Выводы и рекомендации по диссертации обладают существенной новизной, они подтверждены экспериментально, апробированы и опубликованы. Среди новых результатов работы А.В.Пушина отмечаются следующие:

1. Экспериментально измерены критические температуры и впервые построены полные диаграммы термоупругих мартенситных превращений B2↔B19', B2↔B19↔B19', B2↔B19 в равновесных сплавах TiNi-TiCu (0 ≤Cu≤25 ат.%), их закаленных из расплава аналогах (0≤Cu≤34ат.%) и сплавах NiTi-NiHf (0 ≤Hf≤20ат.%) с высокотемпературными термоупругими превращениями B2↔B19'.

2. Показано, что мартенситные фазы B19 и B19' имеют преимущественно пакетную морфологию в виде попарно двойникованных кристаллов с преобладанием двойников I типа по $(111)_{B19\ (B19')}$ и $(011)_{B19\ (B19')}$. В то же время в мартенсите исследованных сплавов не наблюдались двойники II типа $<011>_{B19'}$, используемые в феноменологических кристаллографических теориях термоупругого мартенситного превращения в никелиде титана.

3. Впервые установлен механизм «бездиффузионной» (без изменения химического состава) кристаллизации при формировании УМЗ структуры и определены термокинетические условия ее стабильности в закаленных из расплава сплавах TiNi-TiCu (2≤Cu≤25 ат.%), NiTi-NiHf (12, 18 ат.%Hf) и $Ni_{45}Cu_5Ti_{32}Hf_{18}$. Обнаружено, что отклонение от стехиометрии по Ti и Ni или по Ti и Cu (в пределах ±1 ат.%) в аморфном сплаве $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$

обеспечивает при последующей термообработке образование субмикро- и нанокристаллической структуры за счет механизмов первичной или эвтектической кристаллизации, происходящих с изменением химического состава.

4. Впервые для аморфных сплавов на основе Ti-Ni-Cu предложена модель ближнего атомного порядка в виде нанодоменов, сочетающих три типа сверхструктуры (B2, $L2_1$ и $L1_2$), основанная на анализе обнаруженного диффузного рассеяния рентгеновских лучей, нейтронов и электронов и с помощью просвечивающей электронной микроскопии прямого разрешения.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы

Научная теоретическая значимость результатов работы А.В.Пушина заключается в развитии физических представлений о закономерностях влияния условий синтеза, тонкостей химического состава и последующих термообработок на характеристики ТУМП, структуру и особенности физико-механических свойств тройных сплавов систем TiNi-TiCu и NiTi-NiHf. Доказана эффективность прецизионного легирования и использованных методов теплового воздействия для контролируемого получения высокопрочных и пластичных мелкозернистых и ультрамелкозернистых сплавов с памятью формы.

Разработаны и защищены двумя патентами устройства, действующие на основе эффектов памяти формы, для изготовления которых целесообразно применять исследованные сплавы с повышенными критическими температурами ТУМП (вплоть до 600 К), параметрами ЭПФ и механическими свойствами.

Результаты работы представляют несомненный интерес для специалистов в области металловедения, физики металлов и сплавов, а конкретно - сплавов с памятью формы, их термообработки, и могут быть использованы в организациях и учреждениях, ведущих исследования по направлениям физического металловедения конструкционных и функциональных материалов с особыми свойствами, испытывающих структурные и фазовые превращения, ответственные за высокие механические свойства и, в частности, эффекты памяти формы: ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ФГБУН «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН», ФГБУН «Институт проблем сверхпластичности металлов РАН», ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет», ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения СО РАН», ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» и других организациях, а также на предприятиях, использующих данные материалы в производстве новой техники.

Достоверность и обоснованность результатов исследований

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов, аргументированность выводов, заключений и рекомендаций обеспечена применением

комплекса современных взаимодополняющих и взаимоконтролирующих методов исследований и испытаний материалов, обоснованных методов обработки и интерпретации экспериментальных данных, воспроизводимостью и согласованностью результатов, полученных в данной работе различными методами, и отсутствием коренных противоречий с ранее опубликованными.

Замечания по диссертационной работе

1. Наряду с данными о критических температурах ТУМП, его температурном гистерезисе, влиянии легирования третьими элементами, размера зерна и выделений избыточных фаз представляют большой интерес, особенно для решения практически ориентированных задач, сведения о механических свойствах и деформационно-силовых параметрах сплавов с памятью формы. Однако в данной работе для сплавов, легированных гафнием, эти сведения не представлены.

2. В работе отмечается влияние малых примесей легких элементов (H, N, C, O) только на пластичность исследуемых сплавов, но не обсуждается их влияние на критические температуры термоупругих мартенситных превращений. Не сопоставимо ли оно с влиянием других базовых факторов, например, с малым отклонением основного состава от стехиометрического?

3. Не приведено обоснование достаточности величины шага по составу для построения диаграмм термоупругих мартенситных превращений в сплавах исследованных систем, в частности, закаленных из расплава.

4. Осталось неясным и не обсуждалось в соответствующем разделе, каким образом изменяется или, напротив, не изменяется химический состав в предлагаемой модели ближнего атомного порядка в аморфных сплавах Ti-Ni-Cu.

5. Из обсуждения на стр. 93 не совсем ясно, почему наилучшему приближению к экспериментальному профилю нейтронограммы соответствует наличие всех трех типов порядка (B2, $L2_1$ и $L1_0$), а не комбинация каких-либо двух – количественные оценки отсутствуют.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертационной работы и ее общей положительной оценки.

Общая оценка диссертационной работы

В целом диссертация А.В.Пушина представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой получены новые и важные экспериментальные результаты. Она имеет все необходимые разделы от постановки задач, обзора и выбора методов решения задач до представления результатов экспериментов, их анализа, выводов и заключения. Материалы работы представлены в 12 статьях, опубликованных в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных ВАК и включенных в базу данных цитирования Web of Science, а также защищены двумя патентами на изобретение РФ.

Автореферат диссертации и публикации полно и правильно отражают содержание диссертации. Диссертационное исследование Пушина А.В. на тему «Разработка и исследование объемных и длинномерных наноструктурных высокопрочных материалов на основе тройных титановых сплавов с эффектами памяти формы» соответствует формуле и пунктам 1-3, 9 паспорта специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Заключение

Диссертационная работа «Разработка и исследование объемных и длинномерных наноструктурных высокопрочных материалов на основе тройных титановых сплавов с эффектами памяти формы» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор – Пушин Артем Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Диссертационная работа и отзыв обсуждены на научном семинаре лаборатории термомеханической обработки кафедры обработки металлов давлением НИТУ «МИСиС» 20 ноября 2015 г.

Зав. кафедрой обработки металлов давлением НИТУ «МИСиС»,
профессор, доктор техн. наук Романцев Борис Алексеевич

Профессор, доктор физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. кафедры
обработки металлов давлением НИТУ «МИСиС» Прокошкин Сергей Дмитриевич

Кандидат техн.наук, старший науч. сотр. кафедры
обработки металлов давлением НИТУ «МИСиС» Дубинский Сергей Михайлович

Сведения о ведущей организации:

Полное наименование: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Краткое наименование: НИТУ «МИСиС».

Адрес: 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 4

Телефон: +7(499)237-2225

E-mail: filonov@misis.ru

http://www.misis.ru