



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное
государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Московский
авиационный институт
(национальный
исследовательский
университет)» МАИ
МАИ, Волоколамское ш., д. 4,
г. Москва, ГСП-3, 125993
Факс: 8-499-158-29-77, Тел.: 8-499-158-43-33
E-mail: mai@mai.ru

03.05.2017 № НУ-22/17
на № 128-99/1915 от 14.04.2017

«УТВЕРЖДАЮ»

проректор по научной работе МАИ


Ю. А. Равикович
М.П.


ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе ПЕТРЖИКА Михаила Ивановича на тему «Методы наноструктурирования и аттестации механических и трибологических свойств функциональных сплавов и покрытий на основе Ti, Zr, Fe, Co и Ni», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.16.08 — Нанотехнологии и наноматериалы (Металлургия и материаловедение)

Актуальность работы

В большинстве случаев при деформационных и температурных воздействиях на сплав наноструктура формируется за счет перехода от метастабильного состояния с высоким уровнем свободной энергии на более низкий уровень. Так как формирование наноструктур во многих случаях приводит к появлению новых уникальных свойств материала, диссертацию М.И. Петржика, посвященную методам наноструктурирования, а также аттестации механических и трибологических свойств функциональных сплавов и покрытий следует считать весьма актуальной.

Общая характеристика работы

Выбор объектов исследования - мартенситных фаз и объемных металлических стекол - имеет большую практическую значимость благодаря все более широкому использованию этих материалов в медицине и в миниатюрных магнитно-чувствительных системах.

В работе впервые последовательно и подробно рассмотрены факторы, влияющие на формирование наноструктур, начиная с обоснования выбора составов, методов подготовки исходных материалов, сопоставления методов получения наноструктурированных сплавов в объеме и на поверхности, изучения свойств полученных наноматериалов и заканчивая разработкой способов измерения их служебных характеристик. Принятый подход является фундаментальным, логически обоснованным и практически востребованным. В работе

проведены теоретические и экспериментальные исследования фазовых, структурных, и в том числе термоупругих превращений в сплавах твердых растворах Ti(Zr)-(Nb,Ta) и стеклообразующих расплавов на основе Zr, Co, Fe, Ni, происходящих при воздействии температуры и давления. Выполнен значительный объем прецизионных исследований большого числа составов на основе 3-х групп сплавов: Ti-сплавы с эффектом мартенситного превращения, группа металлических стекол на основе коммерческих сплавов Zr, Co, Fe, Ni и покрытий на основе Ti.

Исследование полностью соответствует формуле специальности 05.16.08, так как в нем: изучены теоретические и практические аспекты получения, обработки и применения материалов, состоящих из нанометрических (до 100 нм) элементов, структуры которых оказывают определяющее влияние на их механические, физические свойства; разработаны технологии для получения наноструктурных металлических и керамических объектов, в том числе, с наноструктурами поверхностными функциональными слоями и покрытиями, обладающих широким спектром функциональных свойств; изучены связи между химическим составом, структурным состоянием и свойствами наноматериалов; установлены закономерностей влияния технологии получения и обработки наноматериалов на их структуру, механические, физические, а так же технологические свойства изделий, предназначенных для использования в различных областях промышленности и медицины.

Научная новизна работы

На основании результатов исследований впервые показано, что для проведения твердофазного наноструктурирования кроме соответствия заданному составу определяющим является выбор технологии подготовки исходных компонентов, режима термической обработки (ТО) и термомеханической обработки (ТМО).

1. На основании систематических физико-химических исследований выработана стратегия поиска составов с особыми функциональными (ЭПФ и ПУ) и технологическими (стеклообразующая способность) свойствами: на примере системы Ti(Zr)-Nb(Ta) показано, что совершенная ПУ достигается в сплавах с наименьшим модулем упругости и наибольшим ресурсом кристаллографической деформации; на примере системы FeNiCrNbMnSiB показано, что границы концентрационной области высокого стеклообразования в неизученных системах сплавов можно предсказать, зная соотношение между «фазами-стеклообразователями» и используя их легирование при сохранении структурного типа.

2. Определены условия термомеханической обработки сплавов Ti(Zr)-Nb(Ta) (степень деформации 20-30% и температура последеформационного отжига 600 °C), формирующей

наноразмерную субзеренную структуру бета-фазы и обеспечивающей совершенное псевдоупругое поведение при минимальном модуле упругости (25 ГПа) и наилучшее сочетание функциональных свойств основы и поверхностных слоев с точки зрения их трибологической и биомеханической совместимости.

3. Для сплавов на основе Zr и Fe установлено существование интервала переохлаждаемого расплава 200-300 °С, при закалке из которого достигается наибольшее переохлаждение до 40 °С при скорости охлаждения ~10°С/сек и максимальное сечение аморфной фазы в отливках до 5 мм.

4. Установлено, что для многокомпонентных биоактивных наноструктурных покрытий Ti-C-Sa-P-O-N существует интервал глубин вдавливания алмазного индентора, в котором измеряемый модуль Юнга имеет постоянное значение, причем величина этого интервала зависит от типа подложки и имеет наибольшее значение (5,5-8.3% от толщины покрытия) для покрытий на плавленом кварце. Этот экспериментальный результат использован для создания стандартного образца модуля упругости.

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность полученных результатов и обоснованность научных заключений обеспечивается использованием в работе комплекса современных апробированных методов исследования (световой, растровой и просвечивающей микроскопии, рентгеноструктурного анализа), а также разработанных с участием автора и аттестованных методик измерений модуля упругости и коэффициента трения, результаты применения которых согласуются с экспериментальными данными, полученными другими исследователями. Представленные в диссертации М.И. Петржика результаты основываются на положениях современного материаловедения, не противоречат закономерностям, известным из зарубежной и отечественной литературы. Результаты диссертационного исследования также подтверждаются их проверкой на практике.

Практическая значимость работы

В работе решены задачи по определению режимов наноструктурирования:

ТМО безникелевых сплавов Ti(Zr)-Nb(Ta) с памятью формы псевдоупругого сплава, обеспечивающие наиболее совершенное сверхупругое механическое поведение. Они зарегистрированы в депозитарии НИТУ «МИСиС» как ноу-хау на способ термомеханической обработки сплавов Ti-Nb-Ta (№30-017-2009 ОИС 26.11.2009) и Ti-Zr-Nb (№ 55-017-2014 ОИС 15.12.2014) и использованы в ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ» при производстве прутковых заготовок дентальных имплантатов.

ТО стеклообразующих расплавов на основе кобальта, позволяющие получить стержневые прекурсоры с гомогенной структурой. Режимы были использованы в ООО «МаКриЭл» при изготовлении по методу Улитовского-Тейлора микропроводов в стеклянной оболочке с улучшенными магнитными и механическими свойствами.

Актуальная проблема обеспечения единства измерений механических и трибологических свойств наноструктурированных покрытий и материалов в условиях локального механического контакта при использовании современных методов аттестации нашла свое решение в разработке методик измерений и Государственных стандартных образцов (ГСО) модуля упругости и коэффициента трения.

Разработаны, аттестованы и внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений две методики измерений свойств наноматериалов: модуля упругости - МВИ УПР/09» (ФР.1.28.2010.07502) и коэффициента трения - МВИ КТИ/10» (ФР.1.28.2010.07504).

Созданы, аттестованы и внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений государственные стандартные образцы (ГСО) модуля упругости МУ НМ (свидетельство № 9451-2009) и ГСО коэффициента трения скольжения КТ-НКМ-0,25 (свидетельство № 9651-2010) для аттестации свойств наноматериалов.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты исследования использованы в ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ» при производстве прутковых заготовок дентальных имплантатов и в ООО «МаКриЭл» при изготовлении по методу Улитовского-Тейлора микропроводов в стеклянной оболочке с улучшенными магнитными и механическими свойствами. Они могут также быть рекомендованы к использованию в университетах, исследовательских институтах и фирмах, занимающихся внедрением инновационных технологий.

Результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, использованы в учебном процессе и вошли в авторские программы дисциплин для бакалавров и магистров по направлению подготовки 22.03.02 и 22.04.02 Metallургия, а также в приглашенные доклады 4-ой (2011), 5-ой (2012) и 6-ой (2013) Школ РОСНАНО «Метрология и стандартизация в нанотехнологиях и nanoиндустрии».

Замечания и вопросы по диссертационной работе

1) Хотя сами по себе выявленные закономерности, например, определение условий стеклообразования (наличие фаз-стеклообразователей и интервала переохлаждения расплава), определение режимов термомеханической обработки при мартенситных превращениях и ряд

других факторов имеют определяющее значение для практического использования, при изложении и анализе результатов не всегда прослеживается логическая связь между сформулированной в диссертации целью исследования и проведенным анализом экспериментальных данных по условиям нанокристаллизации.

2) На примере металлических стекол рассмотрен весь цикл подготовки: состав, методы подготовки и обработки расплава, условия затвердевания и, наконец, твердофазные термические воздействия, приводящие к нанокристаллизации. Крайне желательно иметь такой же анализ для сплавов с мартенситным превращением, а также оценить влияние условий получения на характер формирования покрытий с нанокристаллической структурой.

3) В работе отсутствует систематический анализ случаев наличия отрицательных эффектов нанокристаллизации сплавов, например, для механических свойств аморфных сплавов или протекания мартенситного превращения. Желательно было бы на основе анализа собственных и литературных данных отметить возможные ограничения и условия подавления этого процесса. Большой объем накопленных автором экспериментальных данных позволяет это сделать.

Заключение

Несмотря на указанные замечания, диссертационная работа М.И. Петржика по поставленным задачам и содержанию, примененным экспериментальным подходам и значимости результатов выполнена на современном научном уровне и заслуживает высокой оценки. Она полностью соответствует паспорту специальности 05.16.08 — Нанотехнологии и наноматериалы (Металлургия и материаловедение). Текст работы изложен в надлежащем стиле и оформлен в соответствии с установленными требованиями к докторским диссертациям. Результаты исследований М.И. Петржика обсуждены на многих российских и международных конференциях и опубликованы в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Автореферат и публикации достаточно полно отражают основные положения работы, которые представляют собой существенный вклад в развитие методов наноструктурирования и аттестации функциональных материалов.

В диссертационной работе на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические принципы прогнозирования интервалов легирования сплавов с особыми технологическими и функциональными свойствами, решена научная проблема, имеющая важное социально-экономическое и хозяйственное значение: разработаны научно-технологические основы получения функциональных градиентных наноматериалов на основе низкомодульных безникелевых титановых сплавов и созданы методики измерения и

Государственные стандартные образцы модуля упругости и коэффициента трения для метрологического обеспечения единства измерений свойств наноматериалов.

Таким образом, работа является законченным исследованием, по своему научному и практическому содержанию отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.08 — Нанотехнологии и наноматериалы (Металлургия и материаловедение), а ее автор ПЕТРЖИК Михаил Иванович заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Диссертационная работа Петржика М.И. и отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры «Материаловедение и технология обработки материалов» «28» апреля 2017 г., протокол заседания №8/17. Голосовали: единогласно.

Мы нижеподписавшиеся, даём своё согласие на включение персональных данных в документы, связанные с защитой диссертационной работы Петржика Михаила Ивановича, и их дальнейшую обработку.

Отзыв подготовили:

профессор кафедры «МиТОМ», проф., д.т.н.

 Коллеров М.Ю.

профессор кафедры «МиТОМ», проф., д.т.н.

 Шляпин С.Д.

Заведующий кафедрой «МиТОМ», профессор,
академик РАН РФ, д.т.н.

 Ильин А.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»;
Почтовый адрес: 125993, Российская федерация, г. Москва, ГСП-3, А-80, Волоколамское шоссе, д. 4.
Тел.: +7-499-158-13-43. Факс: +7-499-158-29-77.
Адрес электронной почты: mai@mai.ru.