

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Марченковой Елены Борисовны «Разработка и исследование сплавов на основе $Ni_{50}Mn_{25}Ga_{25}$ с эффектом памяти формы», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации. Как известно, в последние годы большое внимание уделяется изучению сплавов с термоупругими мартенситными превращениями (ТМП), в том числе, и с магнитоуправляемыми, обладающими эффектом памяти формы (ЭПФ). В настоящее время отсутствует достаточное количество систематических исследований ферромагнитных сплавов, в частности, на основе системы Ni_2MnGa , с целью комплексного анализа структуры и свойств, влияния легирования, роли малых и умеренных степеней пластической деформации в формировании субструктуры и механических свойств данных материалов, хрупких в обычном состоянии. Несмотря на то, что разработано большое число систем их легирования, которые можно использовать в различных комбинациях, проблема разработки способов повышения их пластичности остается важной и нерешенной.

В связи с этим, диссертационная работа Е.Б. Марченковой, посвященная исследованию закономерностей структурно-фазовых превращений и формирования физических свойств многокомпонентных сплавов системы Ni_2MnGa , а также разработке новых комбинированных способов улучшения механических свойств данных сплавов, является, безусловно, актуальной как с научной, так и с практической точек зрения. Тематика работы соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, что подтверждается поддержкой данных исследований в рамках различных российских государственных программ (гос. задания ИФМ УрО РАН по теме «Структура», Госконтракта «02.513.11,3053, проекта РНФ 15-12-10014, ряд проектов РФФИ).

Структура и содержание диссертационной работы. Диссертация Е.Б. Марченковой состоит из введения, шести глав, заключения и списка цитированной литературы из 162 источников, всего в диссертации 175 страниц текста, в том числе 128 рисунков и 28 таблиц. Во введении работы достаточно убедительно обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, их связь с научными программами, описан личный вклад автора, дана оценка достоверности, новизны полученных результатов, их научной и практической ценности, а также представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор литературных данных по теме диссертационной работы. Представлено современное состояние исследований структуры и свойств изучаемых материалов, закономерностей ТМП и ЭПФ. Во второй главе приведено описание объектов и методов исследований. В третьей главе представлены результаты изучения микроструктуры и свойств тройных сплавов на основе $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{25}\text{Ga}_{25}$ в двух квазибинарных разрезах. Рассмотрены вопросы влияния отклонения их химического состава от стехиометрии на температуры ТМП, температуру Кюри, фазовый состав, микроструктуру, а также физические свойства. В четвертой главе проанализировано влияние легирования медью и кобальтом на ТМП и свойства сплавов на основе $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{25}\text{Ga}_{25}$. В пятой главе рассмотрено влияние быстрой закалки из расплава (БЗР) на структуру и свойства сплавов на основе $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{25}\text{Ga}_{25}$ (с тремя компонентами и с добавлением 1% Fe). В шестой главе изучено влияние интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением (КВД) на структуру и свойства сплавов на основе $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{25}\text{Ga}_{25}$. Завершают текст диссертации разделы Заключение и Список опубликованных работ автора.

Научная новизна, обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций диссертации. Все научные положения, выводы и рекомендации диссертации обоснованы, подтверждены экспериментально, апробированы и опубликованы. Научную новизну имеют большинство результатов, полученных при выполнении систематических экспериментальных исследований фундаментальных закономерностей изменения свойств и структуры в полиметаллических материалах различного химического состава при указанных комбинациях синтеза и деформационных воздействий. Так, впервые:

1. Определены полные температурно-концентрационные зависимости термоупругих мартенситных превращений и мартенситного перехода для сплавов квазибинарного разреза NiMn-NiGa и $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{25}\text{Ga}_{25}\text{-Ni}_{75}\text{Ga}_{25}$ в широком диапазоне химических составов. Установлены типы и параметры кристаллических решеток аустенита и мартенситных фаз 10М, 14М и 2М, их ориентационные соотношения и пакетно-двойникованная структура.

2. Обнаружено, что в сплавах $\text{Ni}_{50-x}\text{Cu}_x\text{Mn}_{28.5}\text{Ga}_{21.5}$ и $\text{Ni}_{50-x}\text{Co}_x\text{Mn}_{28.5}\text{Ga}_{21.5}$ легирование Cu или Co приводит к уменьшению температур ТМП при некотором рост их температуры Кюри. При совместном же легировании Cu и Co вместо Ni и Co взамен Ga их температуры существенно увеличиваются вплоть до 400 К, превышая температуры превращений в других сплавах Гейслера.

3. Показано, что БЗР сплавов $\text{Ni}_{54}\text{Mn}_{21}\text{Ga}_{25}$ и $\text{Ni}_{54}\text{Fe}_1\text{Mn}_{20}\text{Ga}_{25}$ приводит к существенному (на 2-3 порядка) уменьшению размеров зерна в сплавах, что при

реализации ТМП и ЭПФ способствует возрастанию термоциклической прочности и пластичности образцов. Кроме того, выявлено, что в быстрозакаленных ультрамелкозернистых сплавах температурный интервал петли гистерезиса свойств (электросопротивление, термоЭДС, магнитная восприимчивость, намагниченность в сильных магнитных полях) и термоупругих мартенситных превращений вдвое сужается, а в магнитном поле $H=4$ МА/м смещается на 5-10 К в область более высоких температур.

4. Установлено, что мегапластическая деформация КВД радикально измельчает структуру изученных сплавов на основе $Ni_{50}Mn_{25}Ga_{25}$ до нанокристаллического и частично аморфизированного состояния. При этом обнаружено, что по мере роста величины давления и степени деформации в астеничных и мартенситных сплавах происходит деформационно-индуцированное атомное разупорядочение и трансформация типа структуры по схеме $B2(OЦК) \rightarrow A2(OЦК) \rightarrow A1(ГЦК)$. Отжиг обеспечивает вначале расстекловывание аморфной фазы, затем первичную нанорекристаллизацию в смесь фаз $L2_1$ и $B2$, а при температурах выше 770 К рекристаллизацию в ультрамелкозернистую структуру и одновременное восстановление дальнего атомного порядка по типу $L2_1$ сверхструктуры. Обнаружен размерный эффект подавления мартенситного превращения в сплавах с размером зерен менее 80 нм.

5. Установлено, что после мегапластической деформации сплавы имеют отрицательный температурный коэффициент электросопротивления и магнитоупорядоченное состояние при низких температурах. Последующий отжиг при 800-900К обеспечивает восстановление всех исследованных физических свойств, присущих исходным поликристаллическим сплавам- прототипам и улучшает их пластичность.

Достоверность результатов представленной работы определяется применением современных стандартных методов структурных исследований с использованием приборов высокого разрешения; применением современных методов обработки экспериментальных результатов, соответствием ряда полученных в работе результатов с данными, установленными другими методами и опубликованными ранее в научной литературе.

Научная и практическая значимость результатов. Научная и практическая значимость результатов работы, выполненной Е.Б. Марченковой, заключается в развитии физических представлений о механизмах формирования структуры и свойств исследованных интерметаллических соединений Гейслера системы Ni_2MnGa , а также в использовании интенсивных внешних воздействий и быстрой закалки из расплава с целью получения меньшего размера зерна и увеличения пластичности. Развиваемые в

диссертации физические подходы представляют несомненный интерес для науки и производства. Результаты могут быть использованы в организациях и учреждениях, ведущих исследования в области физики конденсированного состояния, прочности и пластичности металлов и сплавов, а также в области физического материаловедения, в частности, в Институте физики металлов УрО РАН, НИТУ Московском институте стали и сплавов, Уральском федеральном университете, национальных исследовательских Томском политехническом и Томском государственном университетах, ФГУП ГНЦ Всероссийском научно-исследовательском институте авиационных материалов и в других предприятиях и организациях. Их целесообразно использовать, в том числе, в учебных курсах.

Внутреннее единство структуры работы. Диссертация хорошо структурирована и имеет все необходимые разделы от постановки задачи, обзора и методов решения задачи до результатов эксперимента, их анализа, выводов и заключения. Содержание диссертации соответствует указанной специальности, а автореферат содержанию диссертации.

Публикации и апробация диссертационной работы. Результаты диссертации в необходимой степени апробированы и опубликованы. Автором опубликовано 9 научных статей в реферируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ. Результаты исследований были представлены более чем на 20 международных и российских научных конференциях.

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Чем обусловлен выбор химического состава изучаемых сплавов и изучалось ли отклонение химического состава сплавов от стехиометрического квазибинарного?
2. Многие исследователи при анализе механических свойств небольших и хрупких образцов для оценки механических свойств используют измерения твердости и микротвердости. Почему в работе не использованы такие измерения?
3. В работе имеются мелкие опечатки (типа: «коэффициенты становится...» (стр. 23) и др.).
4. В работе много терминов в виде буквенных сокращений, и, несмотря на то, что все они по мере появления в тексте разъясняются, для удобства читателя можно было бы добавить в работу перечень сокращений и обозначений.

Указанные замечания не снижают ценности и общей высокой оценки рецензируемой работы.

Заключение. В целом, следует отметить, что диссертационная работа Е.Б. Марченковой является завершенной научно-квалификационной работой, в которой

систематически и комплексно исследовано влияние легирования и внешних воздействий на основные закономерности формирования ТМП, эволюции микроструктуры и физических свойств тройных, четырёх- и пятикомпонентных сплавов системы на основе Ni_2MnGa и решена важная задача физики конденсированного состояния по созданию и аттестации УМЗ-микроструктур с меньшим размером зерна, большей долей высокоугловых границ и лучшей пластичностью. Работа соответствует паспорту специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния (пункты 1, 2, 3).

Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Марченкова Елена Борисовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Старший научный сотрудник
лаборатории пучковых воздействий
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института электрофизики УрО РАН,
кандидат физ.-мат. наук

Н. В. Гущина

Н.В. Гущина

«03» 12 2019 г.

Почтовый адрес: 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 106
Тел: +7(343)267-87-84
e-mail: guschina@iep.uran.ru

Подпись Гущиной Натальи Викторовны
заверяю, ученый секретарь института,
кандидат физ.-мат. наук



Е.Е. Кокорина

С отговором диссертации

05.12.2018

Сведения об официальном оппоненте

ФИО: Гущина Наталья Викторовна

Ученая степень, звание: кандидат физико-математических наук, специальность: 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» и 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов».

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук

Должность: старший научный сотрудник лаборатории пучковых воздействий

Почтовый адрес: 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 106

Тел.: (343)267-87-84

E-mail: guschina@iep.uran.ru, guscha@rambler.ru

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация

1. Гущина Н. В., Овчинников В. В., Махинько Ф. Ф., Кайгородова Л. И., Распосиенко Д. Ю. Влияние мегапластической деформации и последующего ионного облучения на структуру сплава Al-Li-Cu-Mg // Известия вузов. Физика. 2018. Т. 61. № 8/2. С. 146-150.
2. Бедин С.А., Овчинников В.В., Ремнев Г.Е., Махинько Ф.Ф., Павлов С.К., Гущина Н.В., Загорский Д.Л. Оценка радиационной стабильности нанопроволок сплава $Fe_{0.56}Ni_{0.44}$ под воздействием мощных импульсных пучков ионов // ФММ. 2018. Т. 119. № 1. С. 45-53.
3. Овчинников В. В., Махинько Ф. Ф., Гущина Н. В., Степанов А. В., Медведев А. И., Стародубцев Ю. Н., Катаев В. А., Цепелев В. С., Белозеров В. Я. Воздействие ионного облучения на процесс нанокристаллизации и магнитные свойства магнитомягкого сплава $Fe_{72.5}Cu_1Nb_2Mo_{1.5}Si_{14}B_9$ // ФММ. 2017. Т. 118. № 2. С. 158-166.
4. Gushchina N.V., Ovchinnikov V.V. Mücklich A. Acceleration of volume decomposition of supersaturated Al + 4 wt. % Cu solid solution under irradiation with Ar^+ ions // Phys. Status Solidi B. 2016. Vol. 253. № 4. P. 770-777.
5. Овчинников В.В., Гущина Н.В., Овчинников С.В. Мессбауэровское и резистометрическое исследование индуцированного ионной бомбардировкой $\alpha(OЦК) \rightarrow \gamma(ГЦК)$ фазового превращения и внутрифазовых процессов в сплаве Fe-8.25 at % Mn // ФММ. 2015. Т. 116. № 12. С. 1-11.

Ученый секретарь ИЭФ УрО РАН

кандидат физ.-мат. наук



Е.Е. Кокорина