

## ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу Белослудцевой Елены Сергеевны «Микроструктура, термоупругие мартенситные превращения и свойства В2 сплавов на основе NiMn», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

В материаловедении вообще и металловедении, в частности, генеральным направлением неизменно остается создание материалов с требуемыми (для различных целевых функций) свойствами. Мартенситные превращения являются одним из эффективных способов изменения свойств материалов. Среди этого класса превращений достаточно заметную роль играют термоупругие превращения (ТМП), обладающие высокой степенью обратимости, что и обеспечивает основные эффекты, наблюдаемые при ТМП. Достаточно напомнить о самом ярком эффекте памяти формы, обуславливающим широкое применение сплавов, обладающих ТМП. Следует отметить, что основные бинарные комбинации сплавов к настоящему времени достаточно хорошо идентифицированы. Наступила эра многокомпонентных систем и, в первую очередь, трехкомпонентных, когда систематическим прецизионным легированием исходных бинарных вариантов добиваются изменения диапазонов применения создаваемых материалов. Именно к этому **актуальному** направлению исследований относится рецензируемая работа, в которой в качестве базовой выступает система NiMn.

Говоря о **структуре диссертации**, отмечу, что из 7 глав первая содержит литературный обзор и постановку задач исследования, вторая глава посвящена материалам и методикам исследования, а остальные оригинальные главы освещают кристаллоструктурные особенности мартенситного превращения в системе NiMn и сплавах на ее основе. Неотъемлемой составляющей исследования ТМП, является комплексное изучение свойств получаемых материалов.

**Методология исследования.** Использовались литые образцы. Тройные сплавы синтезировались замещением марганца третьим компонентом вблизи стехиометрического химического состава. В качестве легирующих элементов использовались титан, алюминий и галлий.

Формирование базы данных об особенностях ТМП, структуры, фазового состава, режимов термической обработки и их влияния на свойства материалов достигалось с использованием широкого комплекса измерений, включающего электронную микроскопию, рентгенографию, измерение микротвердости, резистометрию и магнитные измерения.

К числу наиболее значимых, на мой взгляд, относятся следующие **результаты.**

1. Надежно установленная для реализованных вариантов ТМП (главным образом, типа B2 - L1<sub>0</sub>) пакетная структура из параллельных кристаллов мартенсита с габитусами {110}<sub>B2</sub>, причем главные оси бейновского растяжения в соседних кристаллах пакета находятся в двойниковой ориентации, а сами кристаллы обладают набором тонких нанокристаллических двойников.

2. Определение температурных диапазонов реализации прямых и обратных термоупругих мартенситных превращений всех исследованных тройных сплавов.

3. Идентификация в системе Ni-Mn-Ga (при содержании Ga больше 11.5 ат. %) в высокотемпературном аустенитном состоянии сверхструктуры L2<sub>1</sub>, в которой одна из подрешеток полностью заполнена атомами никеля, а две другие – атомами Mn и Ga.

4. Построение обобщенной полной диаграммы фазовых магнитных и мартенситных превращений в широком диапазоне составов квазибинарного разреза Ni-Mn - Ni- Ga.

5. Введение нового (вместо бейновских) варианта межфазных ориентационных соотношений на основе предложенного кристаллоструктурного механизма ТМП B2 - L1<sub>0</sub>(2M).

6. Расчет значения теоретического ресурса обратимой деформации, максимальное значение которого (около 5%) реализуется для сплавов умеренно легированных алюминием (10 ат.%) и титаном (5 ат.%).

Не перечисляя остальных результатов, оппонент отмечает большой объем выполненных экспериментальных исследований и высокое качество литературного обзора.

**Достоверность** результатов работы не вызывает сомнений. Она обеспечивается использованием представительного комплекса взаимно дополнительных современных хорошо апробированных экспериментальных методов в рамках ясно очерченной и критически осмысленной постановки цели исследования, воспроизводимостью результатов, внутренней непротиворечивостью работы и согласием с известными литературными данными.

Оппонент подтверждает **практическую и научную значимость** работы, связанную с разработкой сплавов на основе Ni-Mn, обладающих широким диапазоном температур термоупругих мартенситных превращений, что обеспечивает перспективность применения тройных сплавов в разных областях техники.

Работа, на мой взгляд, свободна от каких-либо существенных недоработок, тем не менее, полезно прояснить **ряд вопросов**.

1. Рецензенту представляется излишне категоричной интерпретация двойникового сдвига как механизма, наследуемого от самой низкочастотной моды аустенита. По мнению рецензента, существует альтернативная динамическая трактовка.

2. В диссертации справедливо указывается на ключевую роль термоупругого мартенситного превращения для реализации эффекта памяти формы, однако не сообщается о том, проводились ли автором хотя бы тестовые испытания синтезированных сплавов в связи с этим эффектом.

Имеется и пара неудачных утверждений. Так, на стр. 14 отмечается, что часто поверхность раздела между фазами не бывает плоской, а ее «...тем не менее, описывают индексами кристаллографических плоскостей исходной

фазы и чаще они определяются иррациональными числами», а на стр.143 переход от  $B_2$  (ОЦК) к  $L1_0$  (ГЦТ) фазе связывается со сжатием вдоль одной из осей симметрии 4 порядка и растяжением вдоль двух других, Не комментируя, допускаю, что указанные формулировки пришлись на пики оформительского утомления и усталости, не позволившей на стр. 141 поставить пробелы сначала между тремя словами, а через строчку ниже – и между четырьмя словами.

Разумеется, поставленные вопросы и ремарка, связанная с деталями оформления текста (в целом оформление работы претензий не вызывает) ни в коей мере не ставят под сомнение высокую оценку диссертационной работы.

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно представлены в научной печати в виде 34 научных публикаций, включая 8 статей в журналах, входящих в перечень ВАК и главу в коллективной монографии РФ. Оппонент подтверждает точность приведенных в диссертации ссылок на работы автора.

Работа прошла достаточную апробацию, ее результаты доложены на 21 представительных российских и международных научных конференциях.

Работа написана хорошим языком, логика изложения материала соответствует поставленным целям.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

### **Заключение**

Содержание диссертации полностью соответствует формуле специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, а также п.1 «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, ... как в твердом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления» и п.3 «Изучение экспериментального состояния конденсированных веществ..., фазовых переходов в них и их фазовые диаграммы состояния» паспорта специальности 01.04.07, а также критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным п. 9 «Положения о

**порядке присуждения ученых степеней»,** утвержденного Правительством РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. На использованные в диссертации результаты других авторов, в том числе, полученные при проведении совместных исследований, диссертантом, в работе даны соответствующие ссылки. Личный вклад автора в диссертационную работу у оппонента не вызывает сомнений. Автореферат соответствует содержанию и основным научным положениям работы.

Диссертация Е.С. Белослудцевой «Микроструктура, термоупругие мартенситные превращения и свойства В2 сплавов на основе NiMn» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые результаты, хорошо известные научной общественности, причем, часть результатов уже востребована практикой.

Считаю, что автор диссертации Елена Сергеевна Белослудцева несомненно **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент доктор физ.- мат. наук, профессор,  
заведующий кафедрой физики

Кашенко Михаил Петрович

28 ноября 2017г

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет»

620100, Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37

Тел.: 8 (343)-254-65-06, E mail: general@usfeu.ru .

СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ  
кандидатской диссертации Е.С. Белослудцевой  
«Микроструктура, термоупругие мартенситные превращения и свойства В2 сплавов на  
основе системы Ni-Mn»

Кащенко Михаил Петрович;  
доктор физико-математических наук, профессор;  
физико-математические науки, специальность 01.04.07-физика твердого тела (ныне-физика  
конденсированного состояния);  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Уральский государственный лесотехнический университет», Институт  
транспорта и технологических систем;  
заведующий кафедрой «Физика»;  
почтовый адрес: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт 37;  
тел.: (343) 254-65-06, 261-45-51;  
e-mail: general@usfea.ru.

Список

основных публикаций официального оппонента в рецензируемых научных изданиях за  
последние 5 лет в сфере исследований, которым посвящена диссертация:

1. Кащенко М.П., Латыпов И.Ф., Чащина В.Г. Соотношение скоростей волн, контролирующих формирование тонкопластинчатого  $\alpha$ -мартенсита, и модуляция структуры двойников превращения // Письма о материалах. 2017. т.7. №2. с.146-150.
2. Кащенко М.П., Чащина В.Г. Кристаллодинамика образования  $\epsilon$ -мартенсита с габитусом  $\{443\}_\alpha$  в титане // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. т.59. № 10. с.51-55.
3. Кащенко М.П., Чащина В.Г. Перспективные варианты инициации роста стержневидных кристаллов  $\alpha$ -мартенсита в сплавах железа тремя источниками упругих волн // Металловедение и термическая обработка металлов. 2016. т. 731. № 5. с. 9-13.
4. Кащенко М.П., Латыпов И.Ф., Чащина В.Г. Наследование тензора деформации управляющим волновым процессом в области зарождения мартенсита на примере Fe-Ni сплавов // Известия вузов. Физика. 2016. Т.59, №5 С.128-129.
5. Кащенко М.П., Чащина В.Г. Динамическая теория возможных морфологических признаков нанокристаллов аустенита, формирующихся при  $\alpha$ - $\epsilon$ - $\gamma$  – превращении в сплавах Fe-Ni- путем деформации и перетасовки плоскостей  $\{110\}_\alpha$  // Физика металлов и металловедение. 2015. Т.116. вып. 9. с. 899-907.
6. Кащенко М.П., Чащина В.Г. Возможность волнового управления формированием двойникового аустенита в процессе образования бейнитного феррита// Физика металлов и металловедение. 2015. Т.116. вып. 4. с. 339-347.
7. Кащенко М.П., Чащина В.Г. Динамическая теория морфологических признаков кристаллов  $\epsilon$ - и  $\gamma$ -фаз, включая ориентационные соотношения Хэдди-Брукса при  $\alpha$ - $\epsilon$  и  $\alpha$ - $\epsilon$ - $\gamma$  – мартенситных превращениях // Физика металлов и металловедение. 2015. Т.116. вып.10. с. 1011-1018.
8. Кащенко М.П., Чащина В.Г. Описание морфологических признаков при В2→В19 мартенситном превращении в рамках концепции управляющего волнового процесса // Физическая мезомеханика. 2014. Т. 4. № 17. с. 69-76.

9. Kashchenko M. P., Chashchina V. G. Crystons: BASIC IDEAS AND APPLICATIONS// Letters on materials. 2015. V.5. №1 . P.82-89.
10. Кашченко М.П., Чащина В.Г. Динамическая интерпретация формирования параллельных тонкопластинчатых кристаллов мартенсита в сильных магнитных полях// Металловедение и термическая обработка металлов. 2014. №7. С. 3 -7
11. Кашченко М.П., Чащина В.Г. Описание морфологических признаков при В2-В19 мартенситном превращении в рамках концепции управляющего волнового процесса// Физическая мезомеханика- 2014. – Т.17. №4. С. 69-76.
12. Кашченко М.П., Чащина В.Г. Описание ориентаций границ двойников II типа при В2-В19 мартенситном превращении в динамической теории// Физическая мезомеханика- 2014. – Т.17. №5. С.63-70.
13. Кашченко М.П., Чащина В.Г. Ключевая роль двойников превращения при сравнении результатов кристаллогеометрического и динамического анализа для тонкопластинчатого мартенсита //Физика металлов и металловедение. 2013. Т. 114. № 10. – С. 894-898.
14. Кашченко М.П., Чащина В.Г. Оценка эффективной скорости роста пластины бейнитного феррита в динамической теории //Физика металлов и металловедение. 2013. Т. 114. №3. С. 290-294.
15. Кашченко М.П., Чащина В.Г. О применимости концепции управляющего волнового процесса к В2→R-мартенситному превращению в В2-сплавах никелида титана//Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56. № 7. С. 76-81

Подпись

/Кашченко М.П./

Дата 28 ноября 2017г.

Ученый секретарь  
Ученого совета УГЛТУ

/Новикова О.Н./