

## ОТЗЫВ

официального оппонента  
Наймайка Олега Борисовича

о диссертационной работе Латыпова Ильи Фанильевича на тему: «Развитие волновой модели формирования кристаллов новой фазы при мартенситных превращениях в металлах и сплавах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07-Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Латыпова И.Ф. выполнена на основе динамической теории формирования кристаллов мартенсита, в условиях выраженных признаков неравновесных фазовых переходов, протекающих вдали от температуры равновесия фаз. Развитые ранее кристаллодинамические модели позволяют ставить новые актуальные задачи в направлении расширения области их применения и дальнейшего приближения к описанию реально наблюдаемых особенностей мартенситных превращений (МП). Именно на решение таких **актуальных проблем** и нацелена рецензируемая работа.

Представленные в трех оригинальных главах работы (не считая первой обзорной главы) теоретические исследования, в основном, содержат: развитие представлений о динамических механизмах формирования двойников превращения и наследования характеристик упругих полей дислокационных центров зарождения (ДЦЗ) волновым процессом, управляющим ростом мартенситного кристалла, а также расчеты упругих полей отдельных дислокационных петель с целью идентификации ДЦЗ мартенситных и бейнитных кристаллов с габитусами типа  $\{hhl\}$  при  $h > 1$  и выявления специфики условий формирования наблюдаемых мартенситных кристаллов, возникающих в кристаллических твердых телах, преимущественно в металлах и сплавах.

Анализируя последовательно содержание глав диссертации, отметим **наиболее важные результаты**, имеющие оригинальный характер и составляющие предмет исследований, выносимых на защиту.

1. Укажем совокупность результатов, связанных с развитием модели формирования регулярной двойниковой структуры тонкопластинчатых кристаллов:

- выполнение аналитической интерполяции закона дисперсии фононов вдоль оси симметрии 4-го порядка, калибровка параметров которой (для системы Fe-30Ni) согласуется с экспериментальными данными как в длинно- так и в коротковолновом диапазоне;

- расчет отличия в разности скоростей  $\Delta v \neq 0$  относительно коротких s- и относительно длинных  $\ell$ -волн в реальном варианте от  $\Delta v = 0$  при формировании регулярной (идеальной) ДС, составляющего (для системы Fe-30Ni)  $\approx 0.11v_s$ , где  $v_s$ - величина скорости s-волн;

- вывод о фрагментации ДС, связывающий каждый из фрагментов ДС со своей спонтанно активированной s- $\ell$  ячейкой, полученный для случая  $\Delta v \approx 0.11v_s$ , при тех же остальных дополнительных условиях, что и для формирования регулярной ДС (постоянство длины волны s- волн  $\lambda_s$ , отсутствие затухания s- волн, совпадение фаз колебаний s- и  $\ell$ -волн, задающих сжатие в первой спонтанно активированной s- $\ell$  ячейке);

- введение в качестве характеристики размеров фрагментов числа  $N_{bas}$  (количества основных компонент в ДС фрагмента), задаваемого условием равенства ширин основной и двойниковой компонент ДС, существенно зависящего от области локализации спонтанно активированной s- $\ell$  ячейки внутри фронта управляющего волнового процесса (УВП).

2. В блоке результатов, связанных с наследованием волновым процессом характеристик упругого поля ДЦЗ отметим:

-формулировку условия совпадения тензоров деформации, сопоставляемых, с одной стороны, упругому полю ДЦЗ в области локализации начального возбужденного (колебательного) состояния (НВС), а с другой стороны УВП;

-разработку алгоритма отыскания УВП, наследующего тензор деформации упругого поля ДЦЗ;

- реализацию (с помощью развитого алгоритма) наследования управляющим волновым процессом тензоров деформации упругих полей ДЦЗ в случаях идентифицированных ранее ДЦЗ для мартенситного превращения в титане и сплаве Fe-31Ni.

3. В блоке результатов, расширяющих область применения уже сложившейся методики идентификации морфологических признаков мартенсита в рамках динамической теории, отметим:

- интерпретацию ориентировки габитусных плоскостей  $(233)_\gamma$  для мартенита охлаждения, наблюдаемого после предшествующей пластической деформации, как результата образования ДЦЗ в форме прямоугольных петель с основными сегментами линий  $[0-11]_\gamma$  и векторами Бюргерса  $b \parallel \langle -311 \rangle_\gamma$ ;

- трактовку ориентационных соотношений (близких к соотношениям Нишиямы), как следствия образования кристаллов с габитусами  $(233)_\gamma$  в результате наибоьстрейшей трансформации плоскостей  $\{110\}_\gamma$  аустенита;

- трактовку нетипичной для пакетного мартенсита ориентации габитусов дополнительной компоненты в макропластине бейнитного

феррита (близкой к  $(774)_\gamma$ ) как инвариантной плоскости упругого поля ДЦЗ (в модели носителя сдвига по плоскостям  $(558)_\gamma$ ) с основными сегментами петель вдоль  $[0-11]_\gamma$  и векторами Бюргерса  $b \parallel [44-5]_\gamma$ .

**Достоверность** результатов работы не вызывает сомнений. Использование дислокационных петель в качестве силовых центров для зарождения мартенсита является физически обоснованным, а развитие схемы двойникового мартенсита базируется на наглядной модели для динамического описания регулярной структуры двойников превращения, развитой ранее в цикле работ научной школы М.Кащенко в рамках динамического подхода к формированию мартенситных кристаллов при реконструктивных мартенситных превращениях. Полученные автором в русле этого подхода результаты согласуются с известными литературными данными в области теории и эксперимента.

Отмечая содержательность, принципиальную новизну и оригинальность ряда выше рассмотренных результатов, считаю целесообразным обратить внимание научной общественности на следующие из них выводы в контексте основных проблем, поставленных в диссертации.

Остановимся на некоторых **замечаниях**, связанных, как правило, с оценками перспектив исследования.

- В работе выполнена аналитическая интерполяция фононого закона дисперсии вдоль оси симметрии четвертого порядка, планируется ли подобное итерполирование для других направлений, что представляется важным при описании динамических сценариев роста нанокристаллов мартенсита?
- Выполненный в главе 3 анализ демонстрирует возможность наследования управляющим волновым процессом тензора упругого поля ДЦЗ, однако в 4 главе используется вариант частичного наследования характеристик упругого поля ДЦЗ в области начального возбужденного состояния.

- На приводимых графиках расчета упругих полей ДЦЗ для большей информативности было бы полезно указывать масштаб деформационного поля.

Сделанные замечания не снижают ценности результатов проведенных в диссертации исследований и относятся, в основном, к пожеланиям.

В целом диссертационная работа И.Ф. Латыпова отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатской диссертации, является заметным вкладом в динамическую теорию мартенситных превращений.

Представленный в диссертации материал прошел хорошую **апробацию** при обсуждении на международных и российских конференциях. Количество и качество публикаций соответствуют рекомендациям ВАК.

Считаю целесообразным рекомендовать к включению в материаловедческие курсы результаты диссертации, относящиеся к возможности наследования управляющим волновым процессом упругого поля дислокационного центра зарождения.

Работа написана хорошим языком, последовательность изложения хорошо продумана и отражает логику исследования, стиль изложения доказательный.

Текст автореферата и публикаций достаточно полно и точно отражают содержание диссертации.

### **Заключение**

Содержание диссертации соответствует формуле специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния и области исследований: п.1 «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов ... в твердом состоянии в зависимости от ... состава, температуры и давления» и п.3 «Изучение...фазовых переходов в них ...».

Работа удовлетворяет 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 отдельные результаты других авторов, в том числе, полученные в результате совместных исследований, диссертантом в работе даны соответствующие ссылки. Личный вклад автора в диссертационную работу у оппонента не вызывает сомнения.

Диссертация И.Ф. Латыпова «Развитие волновой модели формирования кристаллов новой фазы при мартенситных превращениях в металлах и сплавах» является законченной научной работой. Она содержит новые результаты, относящиеся к мартенситным превращениям в сталях и титане. Эти результаты представляют интерес для физики конденсированного состояния и развития динамической теории мартенситных превращений.

Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Латыпов Илья Фанильевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07- физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент доктор физ.- мат. наук, 01.04.07- физика конденсированного состояния, профессор, заведующий лабораторией «Физические основы прочности»

Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра (ИМСС УрО РАН). Адрес: ул. Академика Королева, 1, Пермь, Пермский край, 614061, Тел.: +7 (342) 237 83 12, E mail: naimark@icmm.ru

  
Специальный оппонент  
И.Ф. Латыпов  
09.12.2017

/Наймарк О.Б./