

ОТЗЫВ

о диссертации Чернакова Антона Павловича на тему «Круговые призматические дислокационные петли и релаксация напряжений несоответствия в квазиодномерных наногетероструктурах», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твёрдого тела

Актуальность темы диссертации

Тенденции к миниатюризации электронных устройств, а также обнаружение уникальных свойств наноразмерных объектов стимулируют исследования по созданию наноструктур, обладающих необходимыми свойствами. В частности, большой интерес представляют квазиодномерные наногетероструктуры, такие как нанопроволоки типа «ядро-оболочка», сегментированные нанопроволоки и нанотрубки, в том числе внедрённые в матрицу. Естественно, дефекты кристаллической решетки оказывают заметное влияние на свойства таких структур и при этом они зачастую являются их неотъемлемой частью, возникая вследствие релаксации напряжений несоответствия на границах раздела фаз. Для квазиодномерных структур такими дефектами часто бывают призматические дислокационные петли (ПДП). Несмотря на наличие некоторых решений для ПДП в одномерных структурах, условия их образования и особенности релаксации напряжений несоответствия до сих пор не были изучены в полной мере. Именно этим актуальным вопросам и посвящена представленная диссертационная работа.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения списка литературы из 173 наименований, и трех приложений; содержит 25 рисунков и изложена на 110 страницах печатного текста.

Новизна полученных результатов

К наиболее значимым новым результатам работы можно отнести следующие:

- 1) получены новые – более удобные для применения по сравнению с имеющимися – аналитические решения для энергии деформации и полей напряжений, создаваемых ПДП в бесконечном упругом цилиндре;
- 2) установлены критические условия образования ПДП в нанопроволоке «ядро-оболочка»;
- 3) впервые получено компактное аналитическое выражение для энергии парного взаимодействия ПДП и определено равновесное расстояние между периодическими ПДП в бесконечном цилиндре;
- 4) впервые получены новые, удобные для применения, аналитические решения для энергии деформации и полей напряжений, создаваемых ПДП, расположенной вокруг цилиндрического канала в бесконечном упругом пространстве;
- 5) впервые определены условия образования ПДП на границе матрицы и внедрённой в неё нанотрубки;
- 6) впервые определена энергия ПДП, расположенной вблизи межфазной границы в сегментированной нанопроволоке;
- 7) установлены условия образования ПДП вблизи межфазной границы в сегментированной нанопроволоке.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью математической постановки задач, обоснованным применением гипотез и апробированных методов решения, проверкой полученных решений на удовлетворение краевым условиям и уравнениям равновесия, совпадением частных случаев полученных в работе решений с результатами других авторов, а также соответствием результатов расчетов имеющимся экспериментальным данным.

Ценность для науки и практики

Результаты работы представляют большой интерес как с теоретической, так и с практической точек зрения. Теоретическая значимость работы заключается в построении новых аналитических решений механики сплошных сред для призматических дислокационных петель в бесконечном упругом цилиндре и в бесконечном упругом пространстве вокруг цилиндрического канала, а также в разработке моделей релаксации напряжений в квазиодномерных структурах за счет формирования призматических дислокационных петель. Особо хочется отметить относительную компактность полученных выражений и их удобство для дальнейшего применения, что также подчеркивает эффективность выбранных подходов к решению поставленных задач. Разработанные теоретические модели имеют также прикладную ценность, поскольку позволяют определять условия формирования бездефектных структур или оценивать равновесные параметры дислокационных петель при их зарождении. На основе теоретических оценок можно давать практические рекомендации по созданию композитных нанопроволок и двухфазных композитов с цилиндрическими наноканалами и прогнозировать их свойства.

В целом, работа написана хорошим языком с минимальным количеством опечаток, оформление работы соответствует требуемым стандартам. Постановки задач, описание методов решения и результатов исследования четкие и понятные. Однако при прочтении работы возник ряд вопросов.

Вопросы

1. Насколько допустимо пренебрегать поверхностной энергией межфазных границ при исследовании дефектов кристаллической решетки в нанобъектах, особенно когда они расположены на расстояниях менее 15 нм от границы? Насколько может поменяться характер поведения кривых для дислокационных петель вблизи межфазных границ на рис. 2.5 – 2.8, 3.3, 3.5 с учетом поверхностного натяжения?
2. Насколько допустимо пренебрегать изменением энергии ядра при определении условий формирования ПДП в нанопроволоке типа «ядро-оболочка»?
3. К каким материалам могут быть применимы построенные в работе модели, если составляющие рассматриваемого композита имеют различные параметры решетки при одинаковых упругих характеристиках?
4. Допускает ли построенное решение для ПДП вокруг цилиндрического канала в бесконечном упругом пространстве предельный переход при стремлении радиуса канала к бесконечности? Если допускает, то проверялось ли согласование полученного решения с решением задачи о краевых дислокациях у границы упругого полупространства?

5. Поясните, пожалуйста, как вычислялись бесконечные суммы в выражениях для периодических дислокационных петель?

Указанные вопросы не умаляют значимости работы, но подчеркивают интерес к ней и могут лишь указывать на направление некоторых дальнейших исследований.

Диссертация А.П. Чернакова является законченным научным исследованием, выполнена на высоком профессиональном уровне. Несомненным достоинством работы является получение относительно компактных аналитических решений, которые сами по себе представляют теоретический интерес и, кроме того, могут служить отправными точками или эталонными решениями для дальнейших научных исследований квазиодномерных композитных структур. Особо ценно то, что разработанные модели носят не абстрактный характер, а могут быть непосредственно использованы для выработки рекомендаций по созданию наногетероструктур.

Основное содержание диссертации изложено в 12 опубликованных работах автора, из которых 3 в известных изданиях Q1, входящих в базы данных Scopus и WoS CC, полно отражено в автореферате.

Диссертационная работа Чернакова Антона Павловича отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент

Доктор физико-математических наук, доцент,
профессор с возложением обязанностей
заведующего кафедрой вычислительных методов
механики деформируемого тела факультета
прикладной математики – процессов управления СПбГУ

Пронина Юлия Григорьевна

198504, Санкт-Петербург, Университетский пр., 35
С.-Петербургский государственный университет,
Тел.: (812)4287159, E-mail: y.pronina@spbu.ru

27 ноября 2022 г.

Личную подпись
Ю. Р. Пронина
заверяю
И.О. начальника отдела кадров №2
И.И. Константинова

27.11.2022



Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей