

На правах рукописи

Мин Мин Аунг

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИСЛОКАЦИЙ  
С КРАЕВЫМИ ДИСЛОКАЦИОННЫМИ ПЕТЛЯМИ

Специальность 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва - 2011

Работа выполнена в Калужском филиале государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана»

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,  
профессор **Б.М. Логинов**

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,  
**В.А. Мелик-Шахназаров**  
кандидат физико-математических наук,  
доцент **О.Г. Бонк**

Ведущая организация: Калужский государственный университет  
им. К.Э. Циолковского

Защита состоится «01» июня 2011 г. в 14<sup>30</sup> часов на заседании диссертационного совета Д212.141.17 при ГОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана» по адресу: 248600, г.Калуга, ул. Баженова, д.2, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана по адресу: г.Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Автореферат разослан «27» апреля 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
канд. тех. наук, доцент



С.А.Лоскутов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы работы.** Пластическое течение кристаллических материалов во всех своих формах обусловлено движением дислокаций. В этой связи сопротивление движению дислокаций со стороны различных дефектов кристаллической решетки является фактором, в существенной степени определяющим процесс пластической деформации и деформационное упрочнение. К числу типичных дефектов кристаллической решетки следует отнести класс точечных дефектов и класс линейных дефектов. Данные дефекты с неизбежностью присутствуют в реальных кристаллах, а их преднамеренное введение в кристаллические структуры дает возможность в значительной степени целенаправленно изменять и контролировать физические свойства прочности и пластичности материалов. В связи с задачами современного радиационного материаловедения высокий приоритет приобретают дислокационные петли, которые формируются в большом количестве при облучении твердых тел. В этих условиях взаимодействие скользящих дислокаций с дислокационными петлями может стать определяющим фактором в процессах радиационного упрочнения. Вместе с тем исследования взаимодействия скользящих дислокаций с дислокационными петлями, ввиду исключительной сложности вопроса, в большинстве случаев носят качественный характер, а известные теоретические оценки базируются на существенных упрощающих предположениях, которые снижают ценность полученных результатов и в ряде случаев приводят к некорректным выводам.

В связи с этим в настоящей работе ставилась задача исследования, средствами моделирования на ЭВМ, различных аспектов взаимодействия скользящих дислокаций с дислокационными петлями в условиях, максимально близких к реальной ситуации в кристаллах.

**Целями диссертационной работы** являлись:

- построение физических моделей и методик моделирования процессов взаимодействия скользящих дислокаций с краевыми дислокационными петлями;
- исследование средствами моделирования процессов взаимодействия скользящих дислокаций с краевыми дислокационными петлями применительно к гексагональным плотноупакованным (ГПУ) кристаллам.

**Научная новизна работы** состоит в следующем:

- разработана физическая модель и методика моделирования взаимодействия гибких скользящих дислокаций с краевыми дислокационными петлями при точном воспроизведении пространственно-геометрических особенностей и с учетом тонкой структуры полей внутренних напряжений, создаваемых петлями;
- при строгом учете тонкой пространственной структуры полей внутренних напряжений, создаваемых краевыми дислокационными петлями, проведено детальное рассмотрение процесса взаимодействия гибких скользящих дислокаций с единичными дислокационными петлями;
- получены основные характеристики процессов взаимодействия скользящих дислокаций с краевыми дислокационными петлями и проведен анализ их зависимости от пространственно-геометрических и физических параметров системы;
- установлено, что в процессе своего движения под действием внешнего напряжения сдвига, гибкие скользящие дислокации оказываются способными вовлекать в совместное движение краевые дислокационные петли;
- проведено моделирование движения гибких скользящих дислокаций через хаотические ансамбли краевых дислокационных петель с учетом возможного вовлечения дислокационных петель в совместное движение;
- установлен эффект выметания, заключающийся в том, что в процессе движения гибкой скользящей дислокации через хаотический ансамбль краевых дислокационных петель, оказывается возможным вовлечение скользящей дислокацией дислокационных петель в совместное движение;
- всесторонне исследованы основные характеристики эффекта выметания и их зависимости от уровня внешнего напряжения сдвига, напряжения Пайерлса и характера распределения дислокационных петель в ансамбле.

**Теоретическая и практическая ценность работы** состоят в том, что в работе предложен новый подход к решению задачи взаимодействия гибких скользящих дислокаций с краевыми дислокационными петлями. Развитые в работе методы моделирования позволяют точно учитывать пространственно-геометрические характеристики системы, тонкую структуру полей внутренних

напряжений, адекватно воспроизводить гибкие свойства дислокаций и способность дислокационных петель перемещаться. Практическая ценность работы заключается также в том, что полученные в ней результаты и развитые методы могут быть использованы для количественного анализа широкого круга вопросов физики радиационного упрочнения и стимулируют постановку и проведение новых вычислительных и экспериментальных исследований.

**Достоверность результатов** работы обусловлена корректной постановкой задачи, применением математически обоснованных методов ее решения, сравнением результатов с известными аналитическими данными.

**На защиту выносятся следующие положения:**

- методика моделирования процессов взаимодействия гибких скользящих дислокаций с краевыми дислокационными петлями;
- результаты исследования процессов взаимодействия гибких скользящих дислокаций с краевыми дислокационными петлями;
- результаты моделирования движения скользящих дислокаций через хаотический ансамбль краевых дислокационных петель.

**Апробация результатов.** Результаты диссертационной работы докладывались на конференциях:

1. Региональных научно-технических конференциях «Научные технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе» (МГТУ им.Н.Э.Баумана, Москва, 2007, 2008, 2009, 2010);
2. Всероссийских научно-технических конференциях «Научные технологии, в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе» (МГТУ им.Н.Э.Баумана, Москва 2007, 2008, 2009, 2010);
3. Всероссийской школе-семинаре студентов, аспирантов и молодых ученых по направлению «Нанотехнологии» (МГТУ им.Н.Э.Баумана, Москва 2009).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 1 статья в журнале из перечня ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов и списка цитируемой литературы. Она изложена на 147 страницах текста, содержит 30 рисунков, 1 таблицу, 111 библиографических названий.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, ее практическое значение, формулируются основные цели исследования и основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** диссертации посвящена обзору литературы. В ней проводится рассмотрение и анализ результатов современных исследований взаимодействия краевых дислокационных петель со скользящими дислокациями.

**Во второй главе** диссертации проводится описание использованных и разработанных моделей и методик моделирования.

Моделирование проводилось применительно к кристаллам цинка. Считалось, что краевые дислокационные петли с плоскостями залегания (0001) имели векторы Бюргерса  $\mathbf{b}^{\perp} = \langle 0001 \rangle$ , являлись круговыми и располагались в объеме кристалла случайным образом, а их размеры задавались в соответствии с известным экспериментально полученным распределением. Поскольку поля напряжений краевых дислокационных петель в направлении перпендикулярном плоскости петли практически полностью затухают на расстояниях порядка трех радиусов петли, а максимальный диаметр петель в цинке составляет 1 мкм, производился учет полей напряжений петель, расположенных в слое толщиной  $H=3$  мкм. Проведенные ранее применительно к кристаллам с ГПУ структурой исследования Ф. Кроупе показали, что движение краевой дислокационной петли в плоскости ее залегания, так называемое консервативное переползание, требует значительно меньших энергетических затрат по отношению к призматическому скольжению. В соответствии с этим при моделировании считалось, что в том случае, когда уровень интегрального сдвигового напряжения, действующего на краевую дислокационную петлю со стороны гибкой скользящей дислокации, становится закритическим, т.е. превышает соответствующее напряжение Пайерлса  $\tau_{yz}^{(II)}$ , краевая дислокационная петля перемещается в плоскости своего залегания в направлении и пропорционально действующей сдвиговой силе.

Скользящая дислокация считалась гибкой, ее самодействие учитывалось в приближении постоянного линейного натяжения, равновесные конфигурации определялись с учетом тонкой структуры полей внутренних напряжений, создаваемых краевыми дислокационными петлями, на основе методики радиуса переменной кривизны. Возможность протекания дислокационных реакций при взаимодействии скользящих дислокаций с краевыми дислокационными петлями не учитывалась. Процесс движения

дислокации через хаотический ансамбль дислокационных петель рассматривался как цепь квазистатических состояний, каждое из которых отвечало определенному значению постепенно увеличивающегося внешнего напряжения. Для исключения влияния границы модельного объема на характеристики рассматриваемого процесса использовались периодические граничные условия. Система координат выбиралась так, что плоскость  $Z=0$  являлась базисной плоскостью (0001), в которой рассматривалось скольжение гибкой дислокации с вектором Бюргерса  $\mathbf{b}=1/3\langle 11\bar{2}0 \rangle$ , ориентированным вдоль оси ОУ.

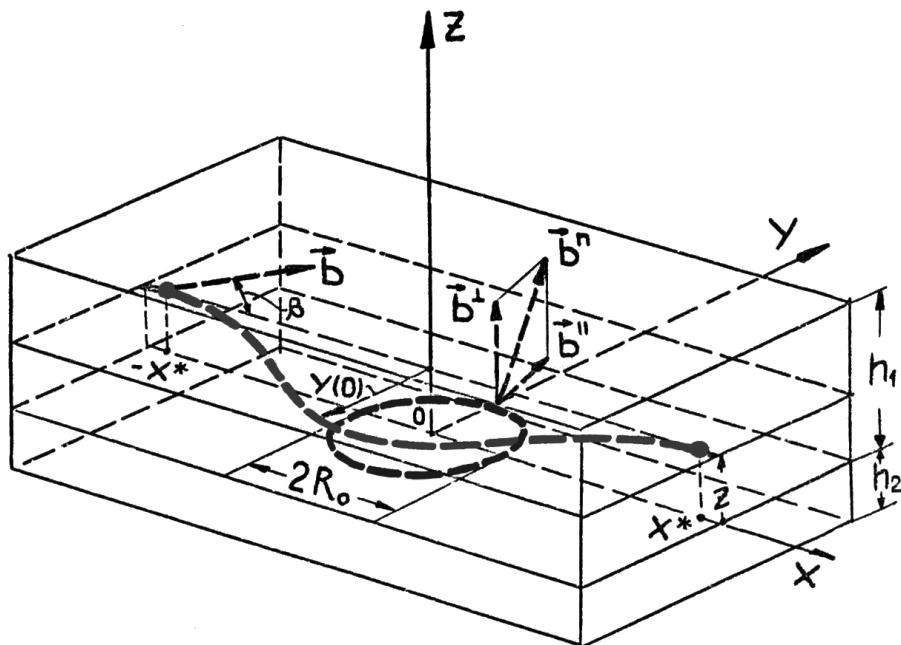
В рамках сформулированных предположений в каждой  $j$ -ой точке скользящей дислокации должно выполняться условие:

$$\frac{\pi(1-\nu)b}{b^\perp \rho_j} = \sum_{i \in D_j} (\tilde{\tau}_{yz}^\perp)_i + \tilde{\tau}_{yz}, \quad (1)$$

где  $\tilde{\tau}_{yz} = \tau_{yz} / (Gb / 2\pi\lambda(1-\nu))$ ;  $(\tilde{\tau}_{yz}^\perp)_i = (\tau_{yz}^\perp)_i / (Gb / 2\pi\lambda(1-\nu))$ ;  $\tau_{yz}$  - внешнее напряжение сдвига;  $(\tau_{yz}^\perp)_i$  - сдвиговое напряжение, создаваемое  $i$ -ой дислокационной петлей;  $G$  - модуль сдвига;  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $\rho_j$  - локальный радиус кривизны скользящей дислокации;  $\lambda$  и  $D_j$ , соответственно, среднее приведенное расстояние между дислокационными петлями и локализованная область эффективного полевого влияния дислокационных петель. Сложность настоящей задачи заключается в нахождении самосогласованных месторасположений подвижных дислокационных петель и равновесных форм скользящей дислокации, так как (1) представляет собой систему интегральных уравнений, когда уровень интегрального сдвигового напряжения, действующего на  $i$ -ую дислокационную петлю, становится закритическим. Решение системы (1) проводилось итерационным способом путем поочередного фиксирования формы скользящей дислокации и расположения дислокационных петель. Процедура продолжалась до тех пор, пока уровень максимальной относительной ошибки  $\varepsilon$ , равной отношению абсолютных величин двух последовательных смещений узловых точек дислокационных сегментов системы (1), не становился меньше 3 %.

Значения параметров  $\nu=0,34$  и  $b^\perp/b=1,856$  выбирались применительно к кристаллам цинка. Значения относительной величины напряжения Пайерлса  $\gamma = \tau_{yz}^{(II)} / G$  для дислокационной

**Третья глава** диссертации посвящена исследованию парного взаимодействия гибкой скользящей дислокации с краевой дислокационной петлей радиуса  $R_0$  (рис.1) при различных значениях уровня внешнего напряжения сдвига  $\bar{\tau} = \tau_{yz} / (Gb^\perp / 2\pi R_0 (1 - \nu))$ .



Анализ проводился для дислокационных петель, размещенных на расстоянии  $\bar{v} = z/R_0$  от плоскости движения скользящей дислокации, которое изменялось параметрически в интервале от  $\bar{v} = -3$  до  $\bar{v} = +3$ . Дислокационная петля первоначально размещалась в начале координат, относительная величина напряжения Пайерлса  $\gamma = \tau_{yz}^{(II)}/G$  в базисной плоскости принималась равной  $5 \cdot 10^{-5}$ , концы первоначально прямолинейной краевой дислокации размещались в точках  $(\bar{x}^* = x^*/R_0 = \pm 10 \cdot R_0, \quad \bar{y}^* = y^*/R_0 = -10 \cdot R_0)$ . По мере увеличения уровня внешнего сдвигового напряжения скользящая

дислокация прогибалась и входила в зону полевого действия дислокационной петли, после чего производился поиск равновесных конфигураций взаимодействующих дислокаций при различных значениях границы  $\bar{u}^*$ .

Полученные результаты позволили установить, что независимо от значений параметра  $\bar{v}$  из рассмотренного диапазона значений заметное полевое влияние дислокационной петли на скользящую дислокацию начинает проявляться, когда расстояние между скользящей дислокацией и фронтальным краем дислокационной петли становится меньше радиуса дислокационной петли и при относительных значениях уровня внешнего сдвигового напряжения  $\bar{\tau}$ , не превышающих критической величины  $\bar{\tau}_{кр} = 0,132$ , дислокационная петля остается неподвижной. Однако увеличение уровня внешнего сдвигового напряжения до критического значения  $\bar{\tau}_{кр} = 0,132$  приводит к тому, что дислокационная петля начинает перемещаться.

Анализ полученных результатов позволил установить, что в тех случаях, когда плоскость залегания краевой дислокационной петли находится ниже плоскости скольжения гибкой дислокации и удалена от нее на расстояние не менее 1,5 радиусов дислокационной петли, скользящая дислокация оказывается не в состоянии увлечь за собой дислокационную петлю. В тех случаях, когда плоскость залегания краевой дислокационной петли находится выше плоскости скольжения гибкой дислокации, скользящая дислокация оказывается не в состоянии увлечь за собой дислокационные петли, удаленные на расстояние не менее 2,0 радиусов. Данная особенность связана со спецификой полевого парного взаимодействия краевой дислокационной петли и гибкой скользящей дислокации в условиях воздействия внешней сдвиговой нагрузки, при котором характер фронтального взаимодействия скользящей дислокации с петлями, расположенными над плоскостью скольжения, значительно отличается от случая взаимодействия скользящих дислокаций с дислокационными петлями, находящимися под плоскостью скольжения.

**В четвертой главе** диссертации проведено моделирование процессов взаимодействия гибкой скользящей дислокации с хаотическими ансамблями незакрепленных дислокационных петель. Рассмотрение проводилось применительно к двум типам распределения дислокационных петель по размерам. В первом случае

распределение диаметров дислокационных петель выбиралось в соответствии с результатами известных электронно-микроскопических исследований. Во втором случае предполагалось, что ансамбль состоит из дислокационных петель одинакового диаметра, значение которого выбиралось равным 0,36 мкм, что соответствует экспериментально полученному среднему значению диаметра дислокационной петли.

Пример прохождения гибкой дислокации через хаотический ансамбль краевых дислокационных петель приведен на рис.2. Петли, расположенные над плоскостью скольжения пробной дислокации, обозначены сплошными линиями, дислокационные петли, расположенные под плоскостью скольжения – пунктирными линиями. Толстыми линиями изображены последовательные положения скользящей дислокации в процессе ее движения при возрастающих значениях внешнего напряжения  $\tilde{\tau}_{yz}$ . Петли, увлекаемые скользящей дислокацией в процессе ее движения, выделены штриховкой. Можно видеть (рис.2а), что при значениях внешнего напряжения сдвига, не превышающих критической величины  $\tau^{(кр)} = \tilde{\tau}_{yz} = 0,27$ , дислокационные петли остаются неподвижными и оказываются способными препятствовать движению скользящей дислокации. При достижении критического уровня внешнего напряжения дислокационные петли утрачивают способность удерживать скользящую дислокацию, которая в процессе своего движения увлекает за собой значительное количество дислокационных петель ансамбля (рис.2б-л).

Результаты моделирования процесса движения скользящих дислокаций через ансамбль дислокационных петель одинакового диаметра позволили установить ряд важных особенностей, связанных с учетом влияния распределения дислокационных петель по размерам. В частности, поскольку зона полевого влияния дислокационных петель составляет порядка трех ее радиусов, не все дислокационные петли, размещенные в исследуемом модельном объеме, в случае неравномерного распределения петель по диаметрам способны оказывать эффективное сопротивление продвижению скользящей дислокации. Поэтому, для адекватных оценок сопротивления движению скользящей дислокации за счет ансамбля дислокационных петель, объемная плотность дислокационных петель не является корректной характеристикой. Для расчета упрочнения, связанного с хаотическим ансамблем дислокационных петель, диаметры которых распределены в соответствии с реально наблюдаемыми, требуется

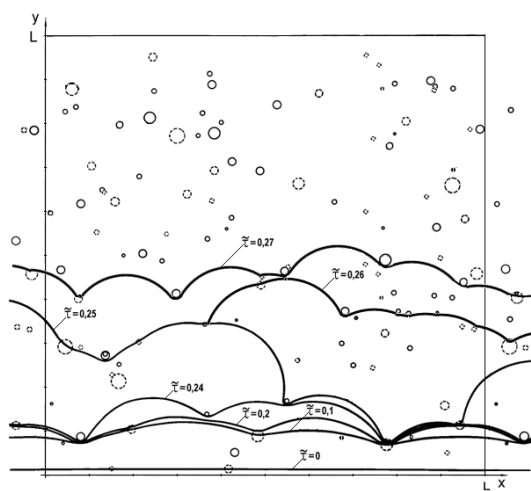
оценка плотности дислокационных петель, оказывающих эффективное полевое влияние на скользящую дислокацию. Плотность эффективных петель, в зависимости от вида распределения дислокационных петель по диаметрам, может существенно отличаться от плотности дислокационных петель в ансамбле, поэтому оценка упрочнения без учета коррекции в плотности может приводить к значительным ошибкам.

Самостоятельный интерес представляет анализ влияния величины напряжения Пайерлса на эффект заметания дислокационных петель в процессе движения скользящей дислокации. С этой целью была проведена серия моделирования процессов движения скользящей дислокации через хаотические ансамбли краевых дислокационных петель, для которых значения относительной величины напряжения Пайерлса  $\gamma$  изменялись в интервале значений от  $10^{-6}$  до  $10^{-3}$ . На рис.3а приведена зависимость величины критического напряжения прохождения скользящей дислокации через ансамбль дислокационных петель от логарифма относительной величины  $\gamma$ . Уровню критического напряжения прохождения для скользящей дислокации, в случае ее движения через ансамбль дислокационных петель при жесткой фиксации их месторасположения, соответствовало значение  $\tau^*=0,47$ , отмеченное на рис.3а пунктирной линией. Зависимость от  $\lg \gamma$  величины относительного разупрочнения ансамбля дислокационных петель

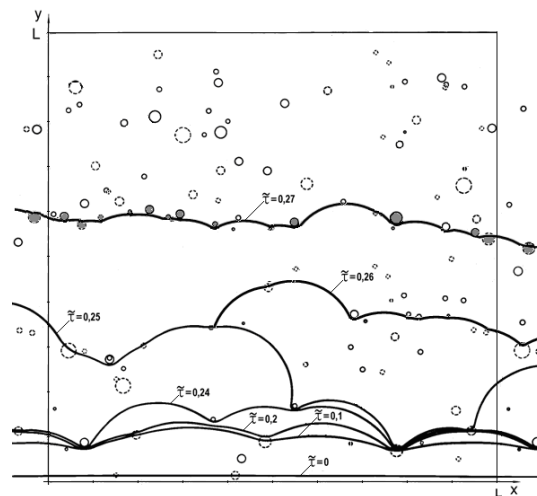
$\frac{\Delta \tau}{\tau^*} = \frac{\tau^* - \tau^{(кр)}}{\tau^*}$  представлена на рис.3б.

Полученные результаты показывают, что в тех случаях, когда величина  $\gamma$  оказывается меньше  $5 \cdot 10^{-6}$ , краевые дислокационные петли полностью утрачивают способность оказывать сопротивление продвижению скользящей дислокации. В интервале значений  $\gamma$  от  $5 \cdot 10^{-6}$  до  $2 \cdot 10^{-4}$  наблюдается монотонное изменение величин  $\tau^{(кр)}$  и  $\frac{\Delta \tau}{\tau^*}$ , а при дальнейшем возрастании уровня относительной величины  $\gamma$ , эффект увеличения прозрачности ансамбля дислокационных петель практически отсутствует и не превышает 5%.

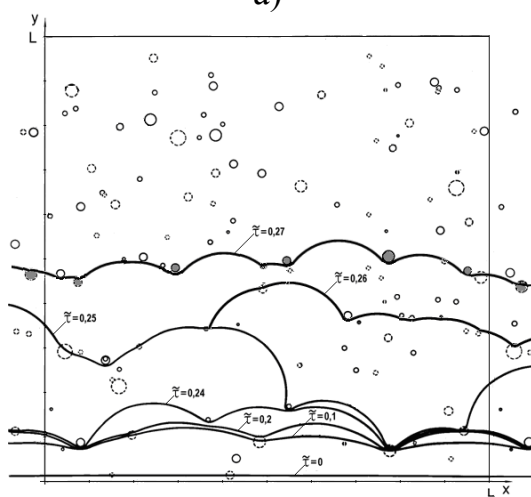
Поскольку снижение  $\tau^{(кр)}$  для скользящей дислокации обусловлено вовлечением дислокационных петель в совместное движение, представляет интерес зависимость от  $\gamma$  относительного количества дислокационных петель в ансамбле – величины  $\eta$ , увлекаемых скользящей дислокацией в процессе ее движения через



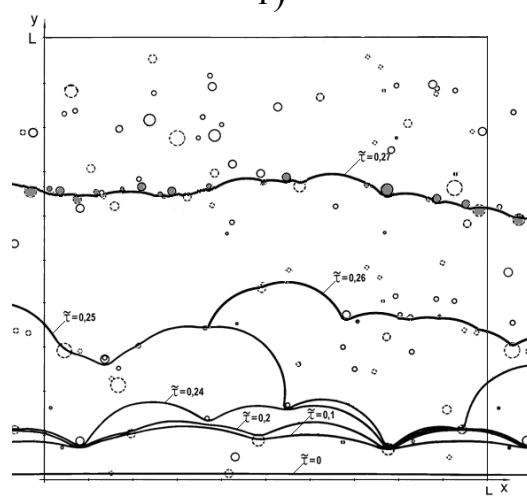
a)



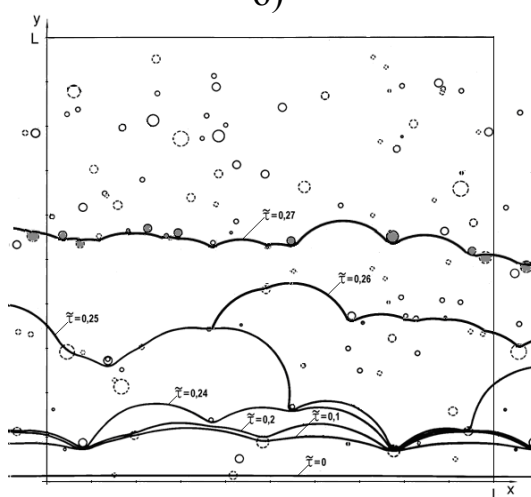
г)



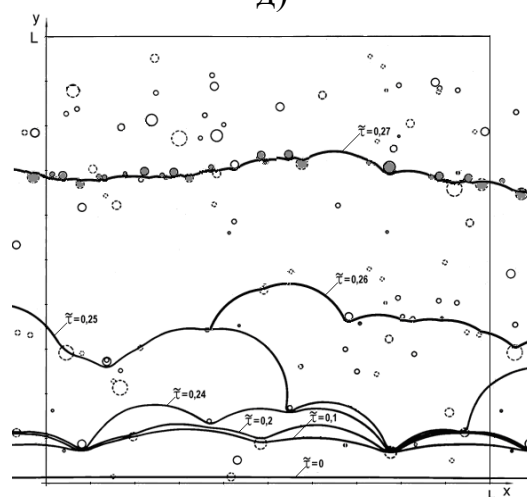
б)



д)



B)



e)

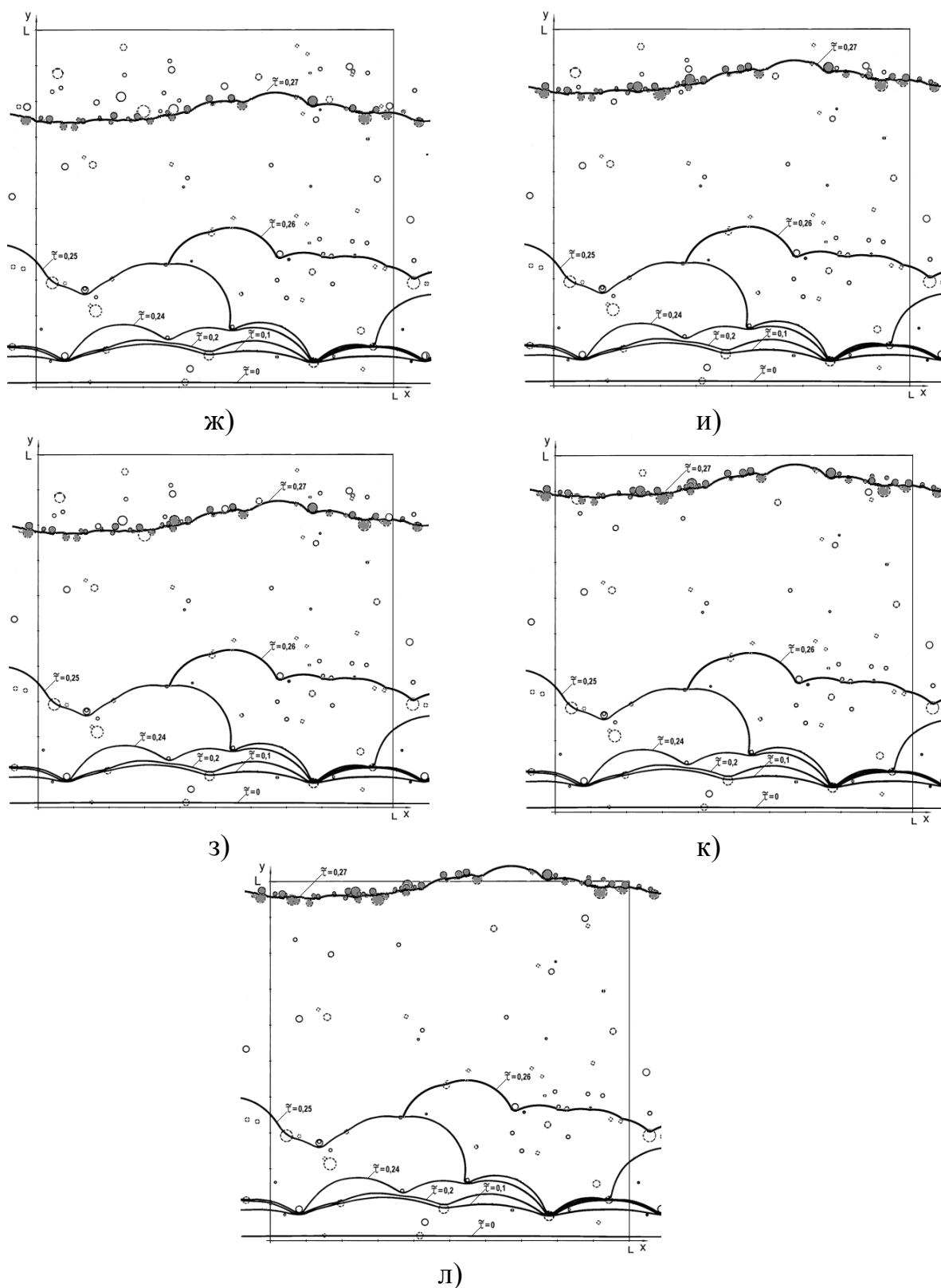


Рис.2. Фрагменты движения гибкой дислокации через хаотический ансамбль краевых дислокационных петель. Штриховкой выделены петли, увлекаемые скользящей дислокацией:  $i=10$ (а);  $i=20$ (б);  $i=30$ (в);  $i=40$ (г);  $i=50$ (д);  $i=60$ (е);  $i=70$ (ж);  $i=80$ (з);  $i=90$ (и);  $i=100$ (к);  $i=110$ (л)

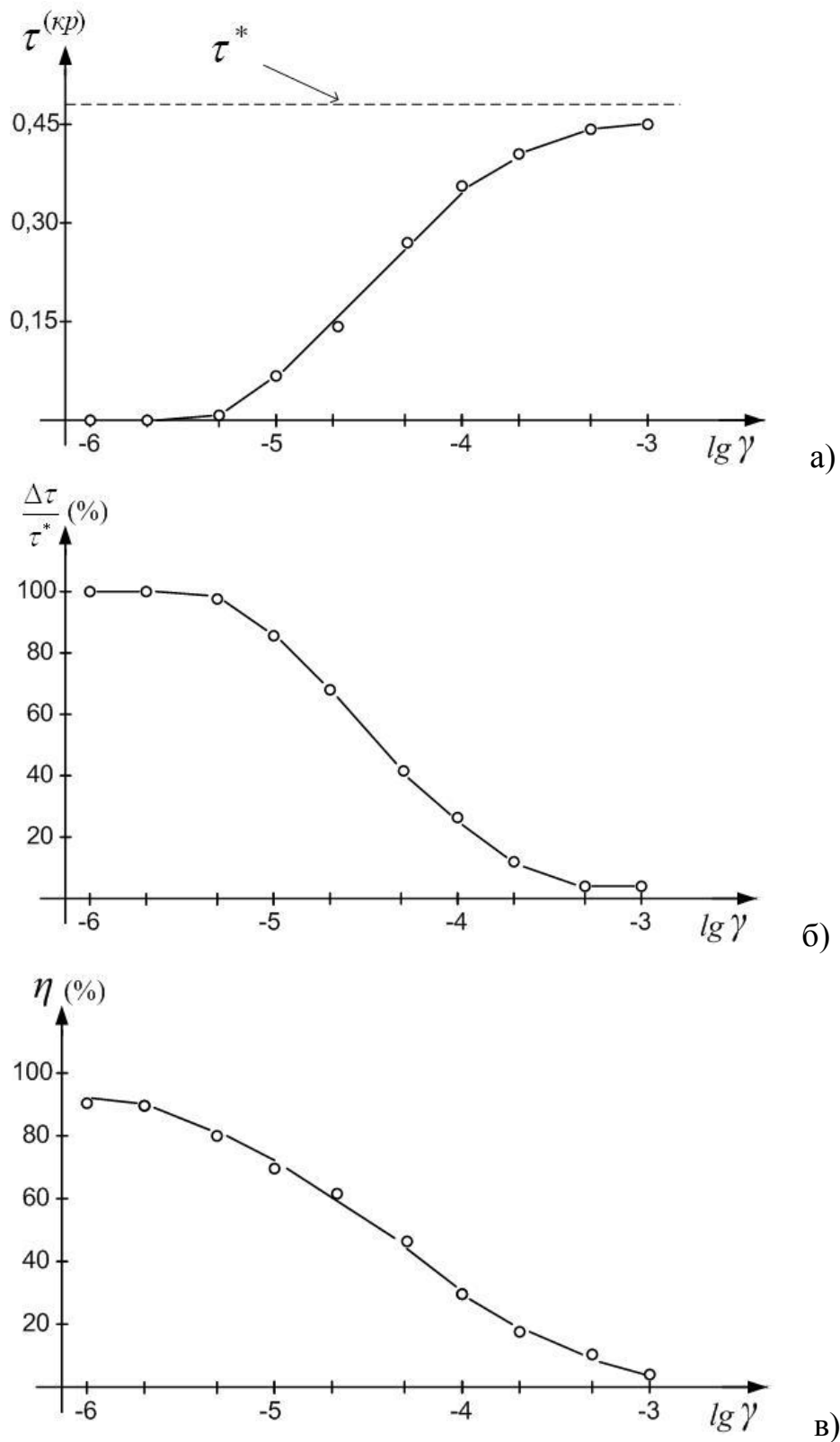


Рис.3. Зависимость от параметра  $\gamma$  критического напряжения прохождения (а), относительного разупрочнения (б) и доли увлекаемых петель (в)

ансамбль. Данная зависимость представлена на рис.3в. Сопоставление зависимостей, представленных на рис.3б и рис.3в, позволяет отметить, что, несмотря на близость в характере изменения величин  $\frac{\Delta\tau}{\tau^*}$  и  $\eta$ , монотонное изменение  $\eta$  оказывается более пологим, и число сметаемых петель не достигает 100% даже в интервале значений  $\gamma$ , при которых  $\tau^{(кр)}$  имеют значения близкие к нулю. Дополнительный анализ позволил установить, что данные особенности обусловлены хаотическим распределением дислокационных петель в пространстве и распределением петель по их радиусам, в силу которых с учетом меняющейся конфигурации двигающейся дислокации взаимодействие скользящей дислокации с отдельными дислокационными петлями оказывается неэффективным.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработаны математическая модель, методика моделирования и программное обеспечение для исследований процессов взаимодействия гибких скользящих дислокаций с хаотическими ансамблями незакрепленных дислокационных петель при строгом учете тонкой структуры полей внутренних напряжений и пространственно-геометрических характеристик.

2. Проведен детальный анализ влияния параметров моделирования на статистические характеристики полей внутренних напряжений для системы взаимодействующих дислокаций. На основе сравнения результатов моделирования с известными аналитическими данными определены оптимальные параметры моделирования.

3. На основе разработанных моделей и методик моделирования, детально исследован процесс парного взаимодействия скользящих дислокаций с незакрепленными дислокационными петлями и всесторонне изучены статистические характеристики рассматриваемого процесса и их зависимости от пространственно-ориентационных параметров системы.

4. Установлен эффект вовлечения дислокационных петель в совместное со скользящей дислокацией движение и получены зависимости данного эффекта от параметрических характеристик системы и уровня внешнего напряжения.

5. Впервые, при строгом учете тонкой структуры полей внутренних напряжений, проведено моделирование процесса взаимодействия хаотического ансамбля незакрепленных дислокационных петель со

скользящей дислокацией и установлен эффект выметания дислокационных петель скользящей дислокацией в процессе ее движения.

6. Получены и проанализированы основные характеристики, связанные с выметанием дислокационных петель и их зависимость от характера распределения дислокационных петель по диаметру, уровня относительной величины напряжения Пайерлса и уровня внешней сдвиговой нагрузки.

### **Основные результаты диссертации отражены в работах:**

1. Мин Мин Аунг, Говоров Д.С. Особенности тонкой структуры поля напряжений краевых дислокационных петель // Наноинженерия: Труды 2-ой Всероссийской школы-семинара по направлению «Наноинженерия». М., 2009. С. 349-354.
2. Мин Мин Аунг, Говоров Д.С. Методика анализа контактного взаимодействия скользящих дислокаций с краевыми дислокационными петлями // Наноинженерия: Труды 2-ой Всероссийской школы-семинара по направлению «Наноинженерия». М., 2009. С. 110-114.
3. Мин Мин Аунг. Методические особенности моделирования взаимодействия дислокаций с подвижными дислокационными петлями // Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. М., 2009. Т.2. С. 61-66.
4. Мин Мин Аунг. Алгоритм построения равновесной формы гибких дислокаций в поле незакрепленной дислокационной петли // Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. М., 2009. Т.2. С. 67-69.
5. Логинов Б.М., Мин Мин Аунг. Моделирование безконтактного взаимодействия гибких скользящих дислокаций с краевыми дислокационными петлями // Труды МГТУ. Методы исследования и проектирования сложных технических систем. 2009. Т. 598. С. 164-174.
6. Логинов Б.М., Мин Мин Аунг. Равновесные конфигурации гибких скользящих дислокаций в поле краевых дислокационных петель при контактном взаимодействии // Труды МГТУ. Методы исследования и проектирования сложных технических систем. 2009. Т. 598. С. 175-188.
7. Мин Мин Аунг. Взаимодействия скользящих дислокаций с подвижными дислокационными петлями // Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе:

Материалы Всероссийской научно-технической конференции. М., 2009. Т.2. С. 55-60.

8. Мин Мин Аунг, Говоров Д.С. Исследование влияния на эффект выметания дислокационных петель характера их распределения в ансамбле // Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: Материалы Региональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. М., 2010. Т.1. С. 201-205.
9. Мин Мин Аунг, Говоров Д.С. Исследование влияния уровня напряжения Пайерлса на эффект выметания дислокационных петель // Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: Материалы Региональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. М., 2009. Т.1. С. 206-208.
10. Логинов Б.М., Белов Ю.С., Мин Мин Аунг. Моделирование прохождения гибких скользящих дислокаций через хаотические ансамбли дислокационных петель // Научные технологии. 2010. №7, т.11. С. 17-23.

Мин Мин Аунг

Моделирование взаимодействия дислокаций  
с краевыми дислокационными петлями

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Подписано в печать 26.04.2011г. Формат бумаги 60х84 1/16.  
Бумага типографская № 2. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1.0.  
Уч.-изд. л. 1.0. Тираж 100 экз. Заказ № 023-80-11.

Московский государственный  
технический университет имени Н.Э. Баумана  
Калужский филиал  
248600, г. Калуга, ул. Баженова, 2.