

УДК 548.24

**ДИСЛОКАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ В СРАВНИТЕЛЬНОМ АНАЛИЗЕ
АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПОДХОДОВ ОПИСАНИЯ СТРУКТУРЫ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕКОЛ****А. А. Рюмцев, О. М. Остриков***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Приведен обзор моделей описания процессов деформирования металлических стекол в условиях негомогенной пластичности для выявления наиболее адекватной и перспективной для дальнейших расчетов; дано обоснование применения такого понятия, как «квазидислокации» для описания процессов деформирования металлических стекол.

Ключевые слова: металлическое стекло, негомогенная пластичность, полосы сдвига.

**DISLOCATION MODEL IN COMPARATIVE ANALYSIS
OF ALTERNATIVE APPROACHES TO DESCRIPTION
OF THE STRUCTURE OF METALLIC GLASSES****A. A. Ryumtsev, O. M. Ostrikov***Sukhoi Gomel State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

The article provides an overview of models for describing the processes of deformation of metallic glasses under conditions of inhomogeneous plasticity to identify the most adequate and promising for further calculations; a rationale for the use of such a concept as "quasidislocations" to describe the processes of deformation of metallic glasses is given.

Keywords: metallic glass, inhomogeneous plasticity, shear bands.

Ввиду новизны открытия такого материала, как металлическое стекло, его физические свойства остаются предметом активного исследования. Обладая высокими прочностными и антикоррозионными свойствами, этот материал находит все большее распространение в машиностроении и приборостроении. Однако сложность изготовления изделий из металлического стекла, обусловленная технологией быстрого охлаждения расплавленного материала, со скоростью, превышающей скорость кристаллизации, а также недостаточная изученность ограничивает применимость перспективного материала. Физические процессы, происходящие при механическом деформировании металлических стекол, были описаны несколькими моделями, предложенными такими учеными, как Д. Д. Гилман, С. Г. Зайченко, В. Т. Борисов, Р. К. Моррис, М. Н. Верещагин, В. Г. Шепелевич, О. М. Остриков. В данной статье предлагается исследование моделей на принятие решения о наиболее адекватной и перспективной, обосновывается применение термина «квазидислокация» для описания деформационных процессов.

Пластическая деформация в аморфных материалах может протекать как по гомогенному сценарию, когда деформирование происходит при высокой температуре, близкой к температуре кристаллизации, и негомогенным образом, что для реальных условий эксплуатации более распространено и представляет больший научный и практический интерес.

Процесс деформации материалов с кристаллической решеткой происходит по известным механизмам двойникования и скольжения. В аморфных материалах реализуется иной канал сдвиговой пластической деформации – полосы сдвига – негомогенная пластическая деформация. При этом негомогенная пластичность протекает в

полосах сдвига практически без упрочнения материала [1]. Структура полосы сдвига изображена на рис. 1.



Рис. 1. Структура полосы сдвига [1]

Следует отметить, что условием к негетерогенному течению МС являются низкие температуры и высокие значения приложенных напряжений [1] и наблюдается данный вид пластической деформации при растяжении, сжатии, прокатке, волочении и иных способах деформации [1].

Для металлических стекол характерным путем протекания пластической деформации является полоса сдвига. Именно такие полосы при деформировании материала развиваются в трещины [1].

В ходе исследования структуры металлических стекол была предложена теория описания линейных дефектов в виде дисклинаций. Согласно [3] такой подход объясняется тем, что появление дисклинаций обусловлено процессом неупорядоченного заполнения трехмерного пространства структурными единицами, представляющими собой, в частности, геометрически правильные тетраэдры для моделей с монокристаллической структурой МС (металлических стекол), и полиэдров для полиатомных структур МС. В данной модели описания структуры металлических стекол применяется теория клиновидных дислокаций [4]. Такой подход предполагает зарождение напряжений в материале и упругие деформации в эквивалентном значении напряжениям и деформации, которые вызываются клиновидными дислокациями.

В достоинствах этой модели можно отметить возможность определения с ее помощью средней плотности избыточной в сравнении с кристаллическим состоянием, упругой энергии в МС, а также высокий уровень внутренних напряжений, значительные деформирующие напряжения и их независимость от степени деформации. Высокая степень адекватности данной модели выражается и в том, что она верно описывает отсутствие дальнего порядка.

В развитии данной теории появилась дисклинационно-дислокационная модель Морриса. Данная модель описывает структуру материала как содержащую трехмерную сеть дисклинаций смешанного типа, представляющих собой ступенчатые линии, соединенных между собой в своих ступенях дислокационными отрезками. Так получается дислокационная подсистема, развивающаяся при нарастании напряжений. Согласно данной модели, дислокационные конфигурации являются результатом пересечения краевых дислокаций с клиновидными дисклинациями. Здесь основным препятствием развития дислокация выступают дисклинации.

Очередной моделью описания структуры металлических стекол стала доработанная Зайченко и Борисовым модель Морриса. Она учитывала испускание и поглощение дислокаций клиновидными дисклинациями, которые и моделируют структуру металлического стекла.

Еще одним подходом к описанию структуры металлических стекол является дефектно-полиэдрический подход [3]. При таком подходе структура металлического стекла представляется ее «полиэдрическими» дисклинационными ансамблями. Они подразделяются на «упорядоченные», которые характерны как для кристаллического, так и для аморфного состояния металлического сплава, и «неупорядоченные», которые свойственны только сплаву с аморфной структурой. В данной модели принимается, что дисклинации из «неупорядоченного» ансамбля, именуемые «избыточными», и формируют специфические свойства металлических стекол. Согласно [3] были выявлены аналогии предложенной модели с моделью дислокации Гилмана. Приведенные работы основаны на простейших модельных представлениях, что не позволяет в полной степени представить особенности гетерогенной деформации металлических стекол.

В исследовании гетерогенной деформации металлических стекол [3] были проведены численно аналитические количественные анализы приведенных выше конфигураций в рамках теории упругости. Так, в частности, рассматривается случай пересечения краевой дисклинации с клиновой дисклинацией, когда прямолинейная краевая дислокация с вектором Бюргера пересекается с прямолинейной клиновой дисклинацией с вектором Франка.

Проведенные в работе [1] аналогии в процессах зарождения полос сдвига в аморфных материалах, в частности, металлических стеклах, с дислокационными процессами формирования двойникования и скольжения, позволило обосновать возможность применения дислокационного подхода в решении задачи о развитии в аморфных материалах двумерных дефектов. Также в работе [1] выдвинуто предположение, что полоса сдвига является каналом разгрузки упругой энергии у конденсатора, что имеет своим результатом кратковременное уменьшение сопротивления аморфной матрицы проникновению в нее индентора. Этот процесс сопровождается уменьшением микротвердости. Отмечено, что как таковых дислокаций, как линейных дефектов кристаллической решетки, не существует в аморфных материалах, но для математического моделирования теория дислокаций изотропных сред удобна для описания напряженно-деформированного состояния металлических стекол, которые и относятся именно к изотропным средам.

Пример применения квазидислокационного подхода продемонстрирован в работе [5], где автор применил его для расчета напряженно-деформированного состояния металлических стекол у криволинейной полосы сдвига, находящейся у поверхности аморфного материала. Согласно данной работе напряжения, создаваемые криволинейной полосой сдвига, определяются с помощью криволинейного интеграла:

$$\sigma_{ij} = \int_{L_{AB}} \rho \sigma_{ij}^{(0)} ds,$$

где L_{AB} – задает профиль полосы сдвига; ρ – плотность дислокаций, формирующих полосу сдвига; $\sigma_{ij}^{(0)}$ – напряжения, создаваемые единичной дислокацией.

Данная модель представления структуры металлических стекол позволяет объемно описать напряженное и напряженно-деформированное состояние этого аморфного материала. Дальнейшее развитие теории, построенной на квазидислокационном подходе, связано с исследованием напряженно-деформированного состояния металлических стекол при случайной и закономерной неравномерности распределения квазидислокаций в теле материала, призвано описать напряженно-деформированное состояние при деформировании образцов различными типами нагрузки. Также ква-

зидислокационный подход способен описать напряженное и напряженно-деформированное состояние в системе «полоса сдвига – трещина». Таким образом, данная модель в виду своей перспективности, адекватности и универсальности является наиболее подходящей для дальнейших исследований.

Литература

1. Верещагин, М. Н. Негомогенная пластическая деформация аморфных сплавов на основе железа: монография / М. Н. Верещагин, В. Г. Шепелевич, О. М. Остриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2004. – 134 с.
2. Гуткин, М. Ю. Дефекты и механизмы пластичности наноструктурных и некристаллических материалах / М. Ю. Гуткин, И. А. Овидько. – Санкт-Петербург: Янус, 2000.
3. Металлические стекла / под ред. Д. Д. Гильмана, Х. Д. Лими – Москва : Металлургия, 1984. – 264 с.
4. Татарина, Л. И. Структура твердых аморфных и жидких веществ / Л. И. Татарина. – Москва : Наука, 1983. – 149 с.
5. Верещагин М. Н. Дислокационная модель полос сдвига в аморфных материалах / М. Н. Верещагин, О. М. Остриков, С. Н. Цыбранкова // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2004. – № 4. – С. 98–105.

УДК 539.12

ВКЛАДЫ КВАРКОВ И АНТИКВАРКОВ В СПИН НУКЛОНА ИЗ АСИММЕТРИЙ ГЛУБОКОНЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРИНО НА ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НУКЛОНАХ

С. И. Тимошин, Е. С. Тимошин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Выражения для вкладов кварковых ароматов $(\Delta u + \Delta \bar{u})$, $(\Delta d + \Delta \bar{d})$, $(\Delta s + \Delta \bar{s})$ и валентных кварков $(\Delta u_v + \Delta d_v)$ в спин нуклона получены из измеряемых асимметрий инклюзивного и полунклюзивного глубоконеупругого рассеяния нейтрино и антинейтрино на поляризованных протонах и нейтронах.

Ключевые слова: нуклон, нейтрино, спин.

THE CONTRIBUTIONS OF THE QUARKS AND ANTIQUARKS IN THE SPIN OF NUCLEON FROM THE ASYMMETRIES OF THE DEEP INELASTIC SCATTERING THE NEUTRINO ON THE POLARIZED NUCLEONS

S. I. Timoshin, E. S. Timoshin

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The expressions were obtained for the contributions quark flavours $(\Delta u + \Delta \bar{u})$, $(\Delta d + \Delta \bar{d})$, $(\Delta s + \Delta \bar{s})$ and the valence quarks $(\Delta u_v + \Delta d_v)$ in the nucleon spin from the measurable asymmetries inclusive and semi-inclusive deep inelastic scattering the neutrino and antineutrino on the polarized protons and neutrons.

Keywords: nucleon, neutrino, spin.

Для решения проблемы спина нуклона важное значение имеет ароматовое разделение вкладов кварков и антикварков [1].