УДК 539.4

Василевич Ю.В., Остриков О.М.

ТЕОРИЯ НЕГОМОГЕННОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ АМОРФНЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Разработана квазидислокационная теория негомогенной пластической деформации твердых тел. На основании теории проведен расчет полей напряжений у полосы сдвига – основного канала негомогенной пластичности конденсированных систем, не имеющих в структуре дальнего порядка. Показан путь использования полученных результатов в решении задач механики деформируемых твердых тел с учетом особенностей реакции на внешнее деформирование, оказываемых аморфными материалами.

В теории пластической деформации аморфных материалов дислокационный подход широко использовался, но для случая гомогенной пластической деформации, распределенной в объеме аморфного материала [1]. В случае негомогенной пластической деформации, локализованной в тонкой полосе сдвига, дислокационный подход еще не нашел широкого применения [2].

Целью данной работ стала разработка квазидислокационной теории негомогенной пластической деформации аморфных материалов и применение этой теории для решения задач механики деформируемого твердого тела.

Под квазидислокацией будем подразумевать такой объект, который в изотропной и однородной среде обладает всеми свойствами дислокаций, но реально не существует и вводится для удобства математических расчетов напряженного состояния у полос сдвига. Такой подход уже использовался ранее при введении таких квазичастиц, как фононы, которые реально не существуют, но их введение очень удобно для математического описания тепловых свойств твердых тел.

На рис. 1 представлено схематическое изображение полосы сдвига в аморфном материале с позиций мезоскопической модели цепочек квазидислокаций.

Поля напряжений у полосы сдвига согласно данной модели могут быть рассчитаны по формуле

$$\sigma_{ij} = \sum_{m=0}^{M}\sum_{n=0}^{N}\sigma_{ij}(x + nd + m(l + Nd), y),$$

где M = $L_{пс}$/(L + l) (здесь $L_{пс}$ – длина полосы сдвига) – число пор; N = L/d (d – расстояние между квазидислокациями в скоплении) – число квазидислокаций в скоплении; m и n – индексы суммирования.

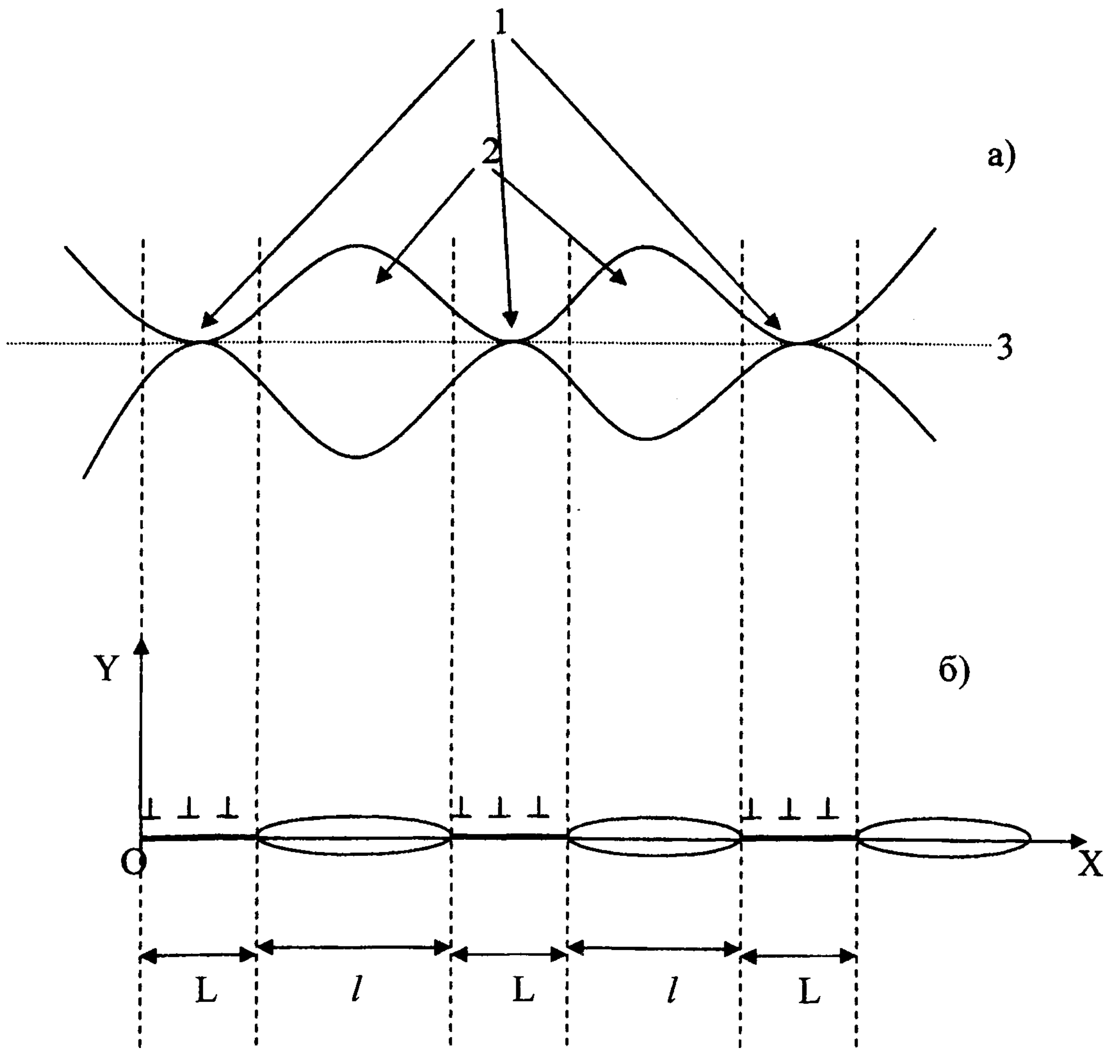

Рис. 1. Полоса сдвига:
а) схематическое изображение; б) дислокационная модель
полосы сдвига; 1 – места сцепления частей материала, находящихся по разные стороны плоскости сдвига;
2 – поры; 3 – плоскость сдвига

Модель цепочек квазидислокаций применима не ко всем типам полос сдвига, появляющимся в деформируемом аморфном материале [3]. Поэтому правомерно использование и модели квазидислокационных стенок. Схематически изображение полосы сдвига в рамках этой модели показано на рис. 2.

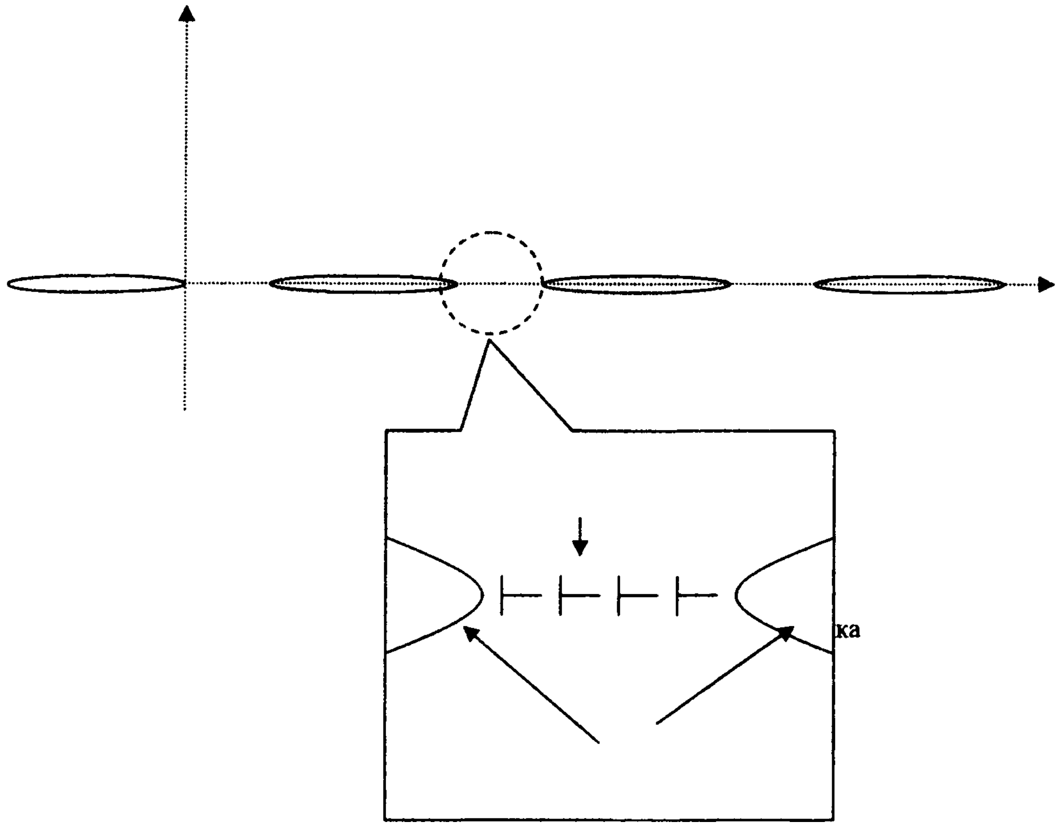

Рис. 2. Модель чередующихся квазидислокационных стенок полосы сдвига в аморфном материале

Целесообразно также использовать и подход Билби-Коттрелла-Свиндена, согласно которому полоса сдвига может быть представлена в виде, показанном на рис. 3.

В работе проведены расчеты полей напряжений у полос сдвига на основании этих моделей. Установлено, что напряжения локализованы у полосы сдвига и в некотором (порядка 100 мкм при длине полосы сдвига 300 мкм) удалении от ее средней части.

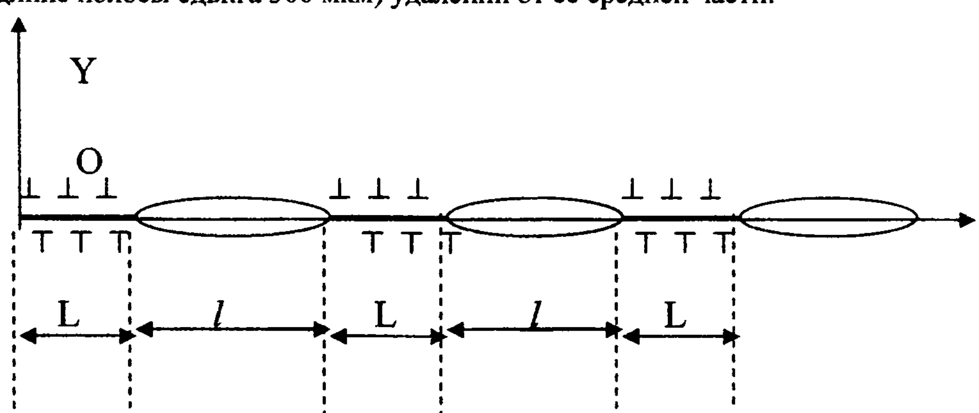

Рис. 3. Квазидислокационная модель полосы сдвига, построенная на основании подхода Билби-Коттрелла-Свиндена

Разработана макроскопическая квазидислокационная модель полосы сдвига в аморфном материале. Схематическое изображение полосы сдвига в рамках данной модели показано на рис. 4.

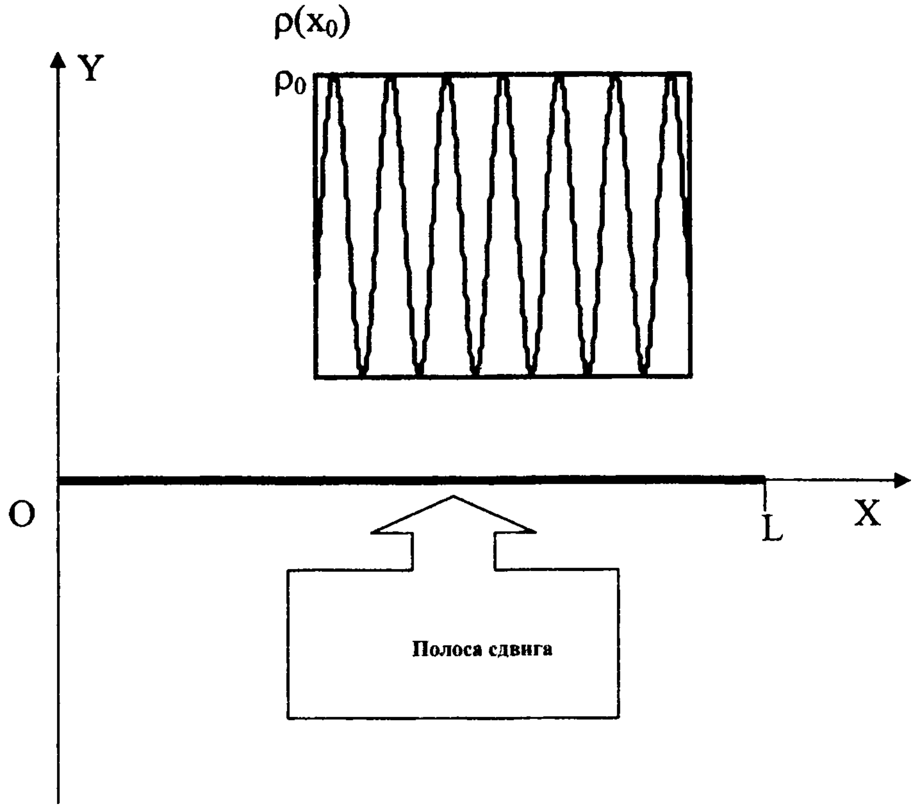

Рис. 4. След полосы сдвига в плоскости XOY.
Схематическое изображение функции плотности распределения
квазидислокаций вдоль полосы сдвига

Расчет напряжений у полосы сдвига в рамках этой модели осуществлялся с помощью формулы

$$\sigma_{ij}(x,y)=\int_0^L \sigma_{ij}^0(x,y,x_0)\rho(x_0)dx_0\ ,$$

где L – длина полосы сдвига; $\sigma_{ij}^0(x,y)$ – компоненты тензора напряжений, создаваемых единичной дислокацией, и определяемые по формулам

$$\sigma_{xx}^0=-\frac{\mu b_{кр}}{2\pi(1-\nu)}\frac{y[3(x-x_0)^2+y^2]}{[(x-x_0)^2+y^2]^2},$$

$$\sigma_{yy}^0=\frac{\mu b_{кр}}{2\pi(1-\nu)}\frac{y[(x-x_0)^2-y^2]}{[(x-x_0)^2+y^2]^2},$$

$$\sigma_{xy}^0=\frac{\mu b_{кр}}{2\pi(1-\nu)}\frac{(x-x_0)[(x-x_0)^2-y^2]}{[(x-x_0)^2+y^2]^2},$$

$$\sigma_{zz}^0=-\frac{\mu b_{кр}\nu}{\pi(1-\nu)}\frac{y}{(x-x_0)^2+y^2},$$

$$\sigma^0_{zx} = -\frac{\mu b_в}{2\pi}\frac{y}{(x-x_0)^2+y^2},$$

$$\sigma^0_{zy} = -\frac{\mu b_в}{2\pi}\frac{x-x_0}{(x-x_0)^2+y^2}.$$

В частном случае плотность квазидислокаций может рассматриваться изменяющейся по гармоническому закону

$$\rho(x_0) = \frac{\rho_0}{2}\left(\cos\left(\frac{2\pi x_0}{l_0}\right)+1\right),$$

где ρ_0 – максимальная плотность квазидислокаций; l_0 – период. Вид функции $\rho(x_0)$ представлен на рис. 4. Результат расчета напряжений показан на рис. 5.

С использованием расчетных соотношений для компонент тензора напряжений для полос сдвига могут решаться задачи механики деформируемого твердого тела [4] при различных способах деформирования аморфного материала.

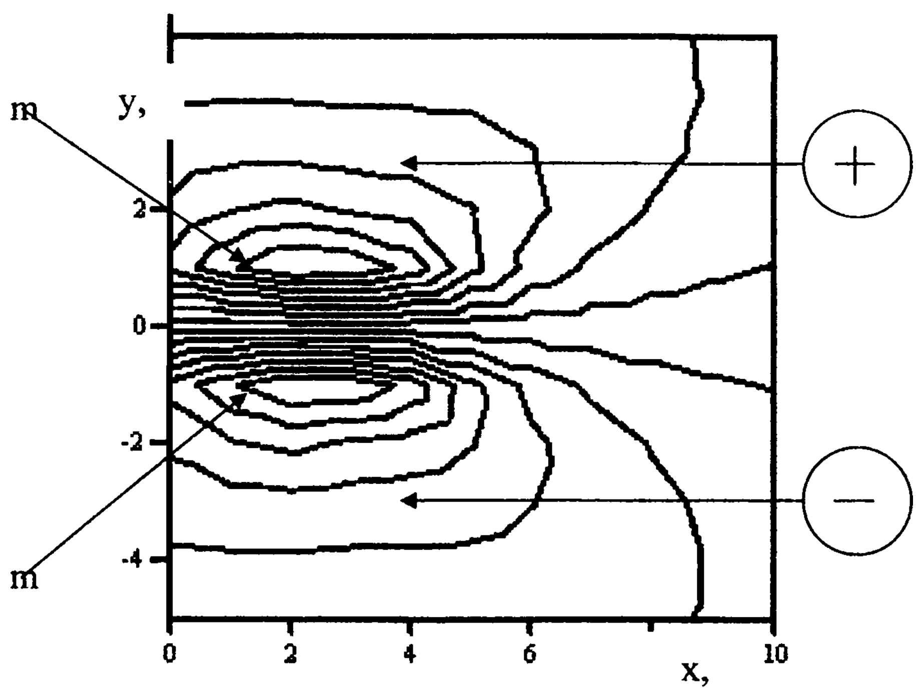

Рис. 5. Распределение напряжений σ_{xx} у полосы сдвига.

Принималось: L=5 мкм; l=3 мкм; ρ_0 =5 мкм$^{-1}$

Таким образом, разработаны квазидислокационные модели полос сдвига, основного канала негомогенной пластической деформации аморфных материалов, при этом предложены следующие модели: а) модель чередующихся цепочек квазидислокаций; б) модель чередующихся квазидислокационных стенок; в) модель, основанная на подходе Билби-Коттрелла-Свиндена и г) макроскопическая квазидислокационная модель. На основании квазидислокационных моделей рассчитаны поля напряжений у полос сдвига и установлено, что область локализации напряжений находится не только у полосы сдвига, но и в определенном удалении от нее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глезер, А.М. Структура и механические свойства аморфных сплавов / А.М. Глезер, Б.В. Молотилов. – М.: Металлургия, 1992. – 208 с. 2. Верещагин, М.Н. Негомогенная пластическая деформация аморфных сплавов на основе железа: монография / М.Н. Верещагин, В.Г. Шепелевич, О.М. Остриков. – Гомель: Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», 2004. – 134 с. 3. Верещагин, М.Н. Особенности пластической деформации при индентировании пирамидой Виккерса поверхности аморфного сплава Fe-Cr-Mo-V-B-Si / М.Н. Верещагин, В.Г. Шепелевич, О.М. Остриков, С.Н. Цыбранкова // Физика металлов и металловедение. – 2002. – Т. 93. – №5. – С. 101–104. 4. Работнов, Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука, 1988. – 712 с.

УДК 539

Дикан Ж.Г., Ларченков Л.В.

МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРУКТУР

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Как наука механика композиционных структур (материалов) зародилась сравнительно недавно, хотя идея использования композиций структурных элементов металлов, керамики, стекла, полимеров и т.д. для получения структур с уникальными свойствами известна давно. Сама природа использовала принцип такой комбинации, например, костей (хрупкая структура апатит – минерал из группы фосфорнокислых соединений кальция, содержащий переменное количество фтора и хлора,– связанный прочным мягким белковым веществом) и древесины (волокна целлюлозы, обеспечивающие механическую прочность и эластичность растительных тканей, связанные лигнином, обеспечивающим одревеснение клеток целлюлозы, увеличивая их прочность). В настоящее время широко применяются следующие структуры: железобетон, прозрачный бетон, стеклопластик, биметаллы, графито- и бороэпоксиды.

Важным преимуществом композиционной структуры является её высокая прочность на единицу массы. При этом по своим прочностным и тепловым качествам многие композиционные структуры превосходят любой из своих структурных элементов или резко отличаются от него.

Наряду с многими технически важными преимуществами композиционные стркутуры обладают также нкдостатками, которые связаны с тем, что физико-механические и химические свойства компонентов структур оказываются не согласованными, а это приводит к специфическим видам разрушения (расслоение, местные разрывы, когезии и т.п.). В связи с этим, при создании математических моделей различных структур эти особенности порождают большие трудности, которые остаются ещё неизученными.

Композиционную структуру можно рассматривать как неоднородную среду. К таким структурам относятся поликристаллические Среды и многоэлементные стахостические смеси (когда все структурные элементы смеси равноправны), а также матричные смеси (когда в композиционной структуре выделяется матрица, а все остальные компоненты считаются включениями). Сюда можно отнести и однородные структуры с пустотами (последние трактуются как включения с равными нулю модулями упругости). Выбор метода описания такой неоднородной Среды зависит от формы и взаимного расположения структурных элементов. Очень часто в пространственном распределении неоднородностей имеется определённый порядок , и тогда говорят о регулярных структурах; если имеются небольшие нарушения этого порядка, то структуры называют квазирегулярными. Каждый из структурных элементов неоднородной структуры может обладать различными механическими характеристиками: упругими, вязкоупругими, пластическими и др. Описание таких неоднородных структур связано с большими математическими трудностями.