

УДК 548.24

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СТЕКЛА ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ЕГО ПОВЕРХНОСТИ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ НАГРУЗКОЙ В СЛУЧАЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОСЫ СДВИГА У ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛА

А. А. РЮМЦЕВ, О. М. ОСТРИКОВ

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

Ключевые слова: металлическое стекло, полоса сдвига, чешуйчатый навал, дислокация.

Введение

Исходя из анализа работ по исследованиям напряженно-деформированного состояния аморфного материала [1]–[9], можно заключить, что на данный момент еще не выработана общая методика по расчету напряжений, вызываемых действием внешней силы, для составления адекватной картины их распределения в аморфном материале при формировании в нем полос сдвига. Отсутствие теории и сформулированной методики расчета напряжений в аморфном материале является основной причиной, которая не позволяет рассчитывать и выявлять места с концентрацией наибольших напряжений, где возможно зарождение трещин и дальнейшее разрушение. Невозможность прогнозирования напряженно-деформированного состояния материала под действием нагрузки не дает возможности наиболее полного определения сфер применения такого перспективного материала, как металлическое стекло. Следует, однако, отметить работы [1], [10]–[12], в которых сделан шаг к описанию и формированию общего подхода к расчету напряженного состояния в аморфном материале, возникающего у полос сдвига, имеющих различные формы, без действия нагрузки извне.

Таким образом, цель работы заключается в формировании методики определения и расчета напряжений в металлическом стекле при деформировании его поверхности сосредоточенной нагрузкой в случае формирования полосы сдвига у поверхности материала.

Постановка задачи

В [13], [14] рассматривается случай контактного взаимодействия упругих тел несогласованной формы, а также предложена модель описания деформаций и распределения напряжений в упругом полупространстве, возникающих при их контактном взаимодействии. Описан случай, когда деформация достаточно мала для возможности применения теории упругости. Так, в частности, в [1] рассматривается случай нагружения образца сосредоточенной нормальной силой. Такое нагружение можно представить как вдавливание ножа в полупространство вдоль оси Z . Нагружение производится сосредоточенной силой P в расчете на единицу длины, измеренной вдоль оси Z . Данная сила действует в направлении нормали к поверхности полупространства (рис. 1).

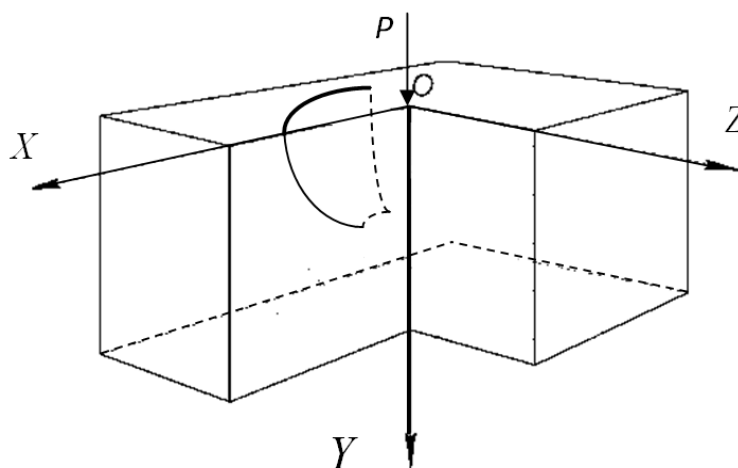


Рис. 1. Схематическое изображение полосы сдвига в виде чешуйчатых навалов у поверхности аморфного материала в разрезе

Так, пользуясь приведенными в [13], [14] формулами, можно принять, что компоненты тензора напряжений, вызванных в материале действием сосредоточенной нагрузки, определяются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}^{(e)} &= -\frac{2}{\pi} \left[\frac{x^2 \cdot P \cdot y}{(x^2 - y^2)} \right]; \\ \sigma_{yy}^{(e)} &= -\frac{2}{\pi} \left[\frac{y^2 \cdot P \cdot y}{(x^2 + y^2)} \right]; \\ \sigma_{xy}^{(e)} &= -\frac{2}{\pi} \left[\frac{x \cdot y \cdot P \cdot y}{(x^2 + y^2)} \right], \end{aligned} \quad (1)$$

где P – модуль внешней силы, Н.

Ввиду того, что у криволинейной полосы сдвига, находящийся у поверхности аморфного материала, возникают напряжения и при отсутствии внешнего воздействия, то общая картина распределения полей напряжений в материале будет представлять собой сумму напряжений, вызванных отдельно приложением сосредоточенной силы, а также напряжений, возникающих от самой полосы сдвига.

Методика расчета полей напряжений у криволинейной полосы сдвига, находящейся у поверхности аморфного материала, описана в [11]. В основе методики лежит квазидислокационный подход, позволяющий моделировать распределение напряжений от полос сдвига в аморфном материале подобно дислокационным процессам.

Так как в работе рассматриваются только полосы сдвига в виде параболической кривой, согласно [1] принимается краевой тип квазидислокаций.

Напряжения, создаваемые криволинейной полосой сдвига, определяются с помощью криволинейного интеграла [15]:

$$\sigma_{ij} = \int_{L_{AB}} \rho \sigma_{ij}^{(0)} ds, \quad (2)$$

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

Криволинейный интеграл по общеизвестным правилам [15] сводится к определенному интегралу:

$$\sigma_{ij}(x, y) = \int_{a+\delta}^L \sqrt{1 + (f'(\eta))^2} \rho(\eta) \sigma_{ij}^{(0)}(x, y, \eta) d\eta, \quad (3)$$

где L – величина проекции L_{AB} на ось OY ; a – глубина залегания источника дислокаций; $f(\eta)$ – функция, определяющая форму полосы сдвига; $\rho(\eta)$ – линейная плотность дислокаций в полосе сдвига; η – параметр интегрирования; $\sigma_{ij}^{(0)}(x, y, \eta)$ – напряжения, создаваемые единичной дислокацией, которые находятся по формулам [12]:

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}^{(0)}(x, y, \eta) &= -B_{\text{кр}} \frac{(x - f_1(\eta))[(x - f_1(\eta))^2 - (y - \eta)^2]}{[(x - f_1(\eta))^2 + (y - \eta)^2]^2} + \\ &+ B_{\text{кр}} \frac{(x - f_1(\eta))[(x - f_1(\eta))^2 - (y + \eta)^2]}{[(x - f_1(\eta))^2 + (y + \eta)^2]^2} + \\ &+ 4B_{\text{кр}} \frac{(x - f_1(\eta))y_0[(x - f_1(\eta))^2(3y + 2\eta) - (y + \eta)^2(y - 2\eta)]}{[(x - f_1(\eta))^2 + (y + \eta)^2]^3}, \\ \sigma_{yy}^{(0)}(x, y, \eta) &= -B_{\text{кр}} \frac{(x - f_1(\eta))[(x - f_1(\eta))^2 + 3(y - \eta)^2]}{[(x - f_1(\eta))^2 + (y - \eta)^2]^2} + \\ &+ B_{\text{кр}} \frac{(x - f_1(\eta))[(x - f_1(\eta))^2 + 3(y + \eta)^2]}{[(x - f_1(\eta))^2 + (y + \eta)^2]^2} - \\ &- 4B_{\text{кр}} \frac{(x - f_1(\eta))y\eta[(x - f_1(\eta))^2 - 3(y + \eta)^2]}{[(x - f_1(\eta))^2 + (y + \eta)^2]^3}, \\ \sigma_{xy}^{(0)}(x, y, \eta) &= -B_{\text{кр}} \frac{(y - \eta)[(x - f_1(\eta))^2 - (y - \eta)^2]}{[(x - f_1(\eta))^2 + (y - \eta)^2]^2} + \\ &+ B_{\text{кр}} \frac{(y + \eta)[(x - f_1(\eta))^2 - (y + \eta)^2]}{[(x - f_1(\eta))^2 + (y + \eta)^2]^2} - \\ &- 2B_{\text{кр}}\eta \frac{(x - f_1(\eta))^4 - 6(x - f_1(\eta))^2 y(y + \eta) + (y - \eta)(y + \eta)^3}{[(x - f_1(\eta))^2 + (y + \eta)^2]^3}; \\ B_{\text{кр}} &= \frac{\mu b_{\text{кр}}}{2\pi(1 - \nu)}, \end{aligned} \quad (4)$$

где μ – модуль сдвига; ν – коэффициент Пуассона; $b_{\text{кр}}$ – модуль краевой дислокации, образующей полосу сдвига.

Форму полосы сдвига типа чешуйчатого навала без существенных локальных искривлений вдоль длины (рис. 1) можно описать следующей функцией:

$$f(\eta) = A_1 \cdot \eta^2 + B_1, \quad (6)$$

где A_1 и B_1 – эмпирические коэффициенты, мкм.

Функция (6) описывает параболическую кривую, соответствующую форме полосы сдвига в виде чешуйчатого навала, окаймляющего отпечаток индентора [1], без волнистости формы.

В данной работе рассмотрим четыре варианта распределения плотности квазидислокаций $\rho(\eta)$. Пусть в первом случае плотность квазидислокаций постоянна:

$$\rho(\eta) = 10^6 \text{ м}^{-1}. \quad (7)$$

Во втором – закон распределения квазидислокаций описывается линейной функцией:

$$\rho(\eta) = A_2 \cdot \eta + B_2, \quad (8)$$

где A_2, B_2 – эмпирические коэффициенты, 10^6 м^{-1} .

В третьем случае закон распределения квазидислокаций описывается квадратичной функцией типа:

$$\rho(\eta) = A_3 \cdot \eta^2 + B_3 \cdot \eta + C_3, \quad (9)$$

где A_3, B_3, C_3 – эмпирические коэффициенты, 10^6 м^{-1} .

Пусть в четвертом случае плотность квазидислокаций изменяется по гармоническому закону, и для варианта, описанного формулами (4), закон распределения квазидислокаций пусть будет задан следующей функцией:

$$\rho(\eta) = A_4 \cdot \sin(B_4 \cdot \eta), \quad (10)$$

где A_4 – эмпирический коэффициент, 10^6 м^{-1} .

Результирующая напряжений находится по формуле

$$\sigma_{ij}(x, y) = \sigma_{ij}^{(0)}(x, y) + \sigma_{ij}^{(e)}(x, y). \quad (11)$$

Результаты расчетов полей напряжений и их обсуждение

Для формы полосы сдвига, описываемой функцией (6), где $A_1 = -1/200$ мкм; $B_1 = 100$ мкм, при распределении плотности квазидислокаций по закону, описываемому функцией (7), где $\rho(\eta) = 10^6 \text{ м}^{-1}$, наибольшие напряжения σ_{xx} сконцентрированы у поверхности материала у устья полосы сдвига, где они имеют отрицательные значения (рис. 2). Также в области II наблюдаются поля отрицательных напряжений, максимальные значения которых отмечаются у полосы сдвига и постепенно убывают по модулю при удалении от области наибольшей кривизны. В области I напряжения положительные достигают максимума у вершины полосы сдвига. В направлении к поверхности материала и в отрицательном направлении по оси OX от отрезка полосы сдвига – от вершины полосы до области наибольшей ее кривизны – напряжения уменьшаются по модулю. Также в области I наблюдается область локализации отрицательных напряжений, формирующаяся у поверхности материала в отрицательном направлении от вершины полосы сдвига, где достигает сравнительно высоких по модулю значений.

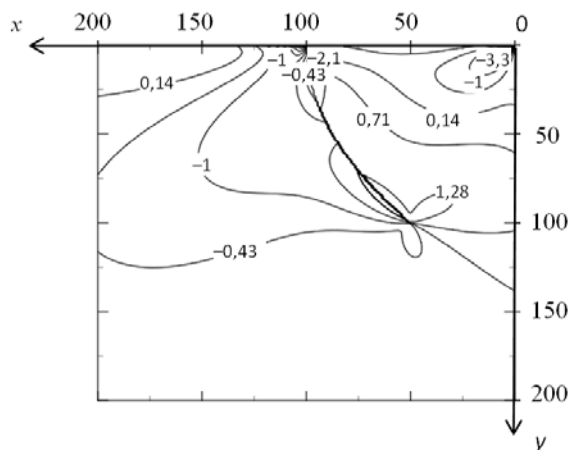


Рис. 2. Распределение напряжений у полосы сдвига, описываемой функцией (6), при нелинейном распределении плотности квазидислокаций, описываемом функцией (7)

Для полосы сдвига формы, описываемой функцией (6), где $A_1 = -1/200$ мкм; $B_1 = 100$ мкм, при распределении плотности квазидислокаций по закону, описываемому функцией (7), где $\rho(\eta) = 10^6 \text{ м}^{-1}$, напряжения σ_{yy} имеют незначительный разброс значений. Так, максимум напряжений наблюдается у устья полосы сдвига у поверхности и в области II в положительном направлении по оси OX они медленно убывают.

Также вокруг области наибольшей кривизны полосы поля напряжений приобретают отрицательные значения и, огибая вершину полосы сдвига, достигают своего максимума по модулю у отрезка полосы сдвига от устья до точки на следе полосы, отстоящей от ее вершины.

Для полосы сдвига формы, описываемой функцией (6), где $A_1 = -1/200$ мкм; $B_1 = 100$ мкм, при распределении плотности квазидислокаций по закону, описываемому функцией (7), где $\rho(\eta) = 10^6 \text{ м}^{-1}$, в области II напряжения σ_{xy} знакопеременны. Положительные напряжения локализованы на некотором удалении от поверхности материала в положительном направлении по оси OX от полосы сдвига на расстоянии от нее. Значительную зону в области II занимают поля отрицательных напряжений. Максимум их значений по модулю достигается у полосы сдвига у ветви 1. Поле данных напряжений вытянуто в положительном направлении по осям OX и OY . Также в области II формируются поля положительных напряжений с максимумом у ветви 2. Убывают данные напряжения в положительном направлении по оси OY .

В области I напряжения отрицательны и имеют максимум вдоль всего следа полосы сдвига и убывают при удалении от нее. У поверхности материала в отрицательном по оси OX направлении от устья полосы формируется область отрицательных напряжений. Максимальные по модулю напряжения сконцентрированы у ветвей 1, 2 на следе полосы сдвига.

Для формы полосы сдвига, описываемой функцией (6), где $A_1 = -1/200$ мкм; $B_1 = 100$ мкм, при линейном распределении плотности квазидислокаций, описываемом функцией (8), где $A_2 = 20 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$; $B_2 = 50 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, наибольшие напряжения σ_{xx} наблюдаются у поверхности материала у устья полосы сдвига, а также на некотором удалении в положительном и отрицательном направлении от него (рис. 3). При этом у устья полосы наблюдаются отрицательные напряжения, как и в области I у поверхности, а в положительном по оси OX направлении от устья сосредоточены по-

ложительные напряжения. Также в области II у отрезка полосы сдвига от вершины по области наибольшей кривизны полосы формируются поля отрицательных напряжений, которые убывают по значению в положительном направлении по оси OX , а также в отрицательном направлении по оси OY . При этом между данными полями напряжений, отрицательных по значениям и расположенных ортогонально друг другу, расположена область положительных напряжений.

В области I напряжения у отрезка от вершины до области наибольшей кривизны положительны и убывают при удалении от этого отрезка преимущественно в отрицательном направлении по оси OY . Также следует отметить, что в направлении по часовой стрелке вокруг вершины полосы напряжения принимают положительные значения. При этом у вершины полосы сдвига вдоль ее следа напряжения максимальны и отрицательны по модулю и убывают в направлении к устью.

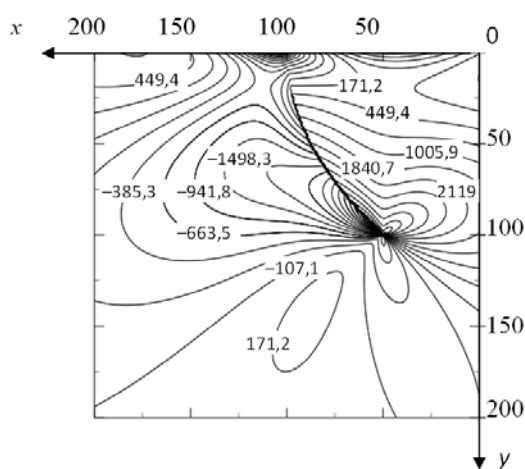


Рис. 3. Распределение напряжений у полосы сдвига, описываемой функцией (6), при нелинейном распределении плотности квазидислокаций, описываемом функцией (8)

Для полосы сдвига формы, описываемой функцией (6), где $A_1 = -1/200$ мкм; $B_1 = 100$ мкм, при линейном распределении плотности квазидислокаций, описываемом функцией (8), где $A_2 = 20 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$; $B_2 = 50 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, напряжения σ_{yy} в области II максимальны в положительном направлении по оси OX у поверхности материала и постепенно убывают при удалении от этой области в положительном направлении как по оси OX , так и по оси OY .

Также напряжения имеют максимум у отрезка полосы сдвига от ее вершины до области наибольшей кривизны в положительном направлении по оси OX . Данные напряжения отрицательны. Поля их смежны с полями напряжений, формирующихся в положительном направлении по оси OY и отрицательном направлении по оси OX от вершины полосы сдвига. Данные напряжения также отрицательны.

Между полями отрицательных напряжений в области II, расположенных у вершины, на удалении от нее формируются поля положительных напряжений, достигая максимальных значений на удалении от вершины полосы в положительных направлениях по осям OX, OY .

В области I максимальные положительные напряжения формируются у отрезка полосы сдвига от устья до области наибольшей кривизны и убывают при удалении от этой области в отрицательном направлении по оси OX . Область концентрации отрицательных напряжений формируется на некотором удалении от поверхности материала в отрицательном направлении по оси OX от устья полосы. Напряжения по

модулю убывают при удалении от этой области и меняются на положительные в зоне, расположенной в отрицательном направлении от вершины полосы сдвига по осям OX и OY , где наблюдается максимум положительных напряжений.

Для полосы сдвига формы, описываемой функцией (6), где $A_1 = -1/200$ мкм; $B_1 = 100$ мкм, при линейном распределении плотности квазидислокаций, описываемом функцией (8), где $A_2 = 20 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$; $B_2 = 50 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, наибольшие по модулю и положительные напряжения σ_{xy} в области II локализуются на удалении от поверхности материала в положительном по оси OX направлении от полосы сдвига. Также поля положительных напряжений формируются у полосы сдвига у отрезка ее следа от области наибольшей кривизны до вершины полосы. При удалении от этой области напряжения уменьшаются преимущественно в положительном по оси OY направлении. Между указанными областями положительных напряжений на удалении от полосы сдвига в положительном направлении по оси OX локализуется зона отрицательных напряжений.

В области I концентрируются отрицательные напряжения. Наибольшие по модулю напряжения формируются у области наибольшей кривизны полосы сдвига и уменьшаются при удалении от этой зоны. Также у вершины полосы в отрицательном по оси OX направлении от нее расположена область концентрации также отрицательных напряжений. На удалении от этих зон поля данных напряжений объединяются и далее уменьшаются вместе.

Для формы полосы сдвига, описываемой функцией (6), где $A_1 = -1/200$ мкм; $B_1 = 100$ мкм, при нелинейном распределении плотности квазидислокаций, описываемом функцией (9), где $A_3 = 1/10 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$; $B_3 = 1/5 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$; $C_3 = 5 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, напряжения σ_{xx} максимальны по модулю и отрицательны у устья полосы сдвига, а также на некотором удалении от него в положительном, где напряжения имеют положительные значения, и отрицательном, где напряжения носят отрицательный знак, направлениях (рис. 4). В области II у отрезка от вершины полосы до области ее наибольшей кривизны сконцентрированы максимальные по модулю и отрицательные направления, значения которых убывают по модулю в положительном по оси OX направлении. Также в отрицательном направлении по оси OY и положительном по оси OX направлении от вершины полосы сдвига формируется участок положительных по знаку напряжений. В области I формируются поля положительных по знаку напряжений у отрезка полосы сдвига от вершины до ее области наибольшей кривизны. Далее напряжения убывают при удалении от этой зоны и вокруг вершины полосы.

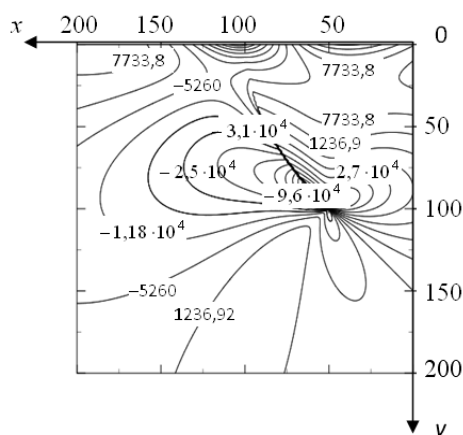


Рис. 4. Распределение напряжений у полосы сдвига, описываемой функцией (6), при нелинейном распределении плотности квазидислокаций, описываемом функцией (9)

Для полосы сдвига формы, описываемой функцией (5), где $A_1 = -1/200$ мкм; $B_1 = 100$ мкм, при нелинейном распределении плотности квазидислокаций, описываемом функцией (9), где $A_3 = 5 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$; $B_3 = -4 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$; $C_3 = 0$, максимальные напряжения σ_{yy} в области I сконцентрированы у полосы сдвига на некотором удалении вдоль ее следа от вершины. Данные напряжения уменьшаются при удалении от этой области в положительном направлении по осям OX и OY . Также в данной области напряжения достигают своих максимумов у отрезка следа полосы сдвига от области наибольшей кривизны до вершины, а также в положительном направлении по оси OY от вершины полосы. Эти напряжения отрицательны. Между полями данных отрицательных напряжений формируется область концентрации положительных напряжений с максимумом, расположенным в положительном направлении по оси OX от вершины полосы.

Для полосы сдвига формы, описываемой функцией (6), где $A_1 = -1/200$ мкм; $B_1 = 100$ мкм, при нелинейном распределении плотности квазидислокаций, описываемом функцией (9), где $A_3 = 5 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$; $B_3 = -4 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$; $C_3 = 0$, в области II наибольшие напряжения σ_{xy} наблюдаются на некотором удалении от поверхности материала в положительном направлении по оси OX от полосы сдвига. Также максимальные положительные напряжения сконцентрированы у полосы сдвига у отрезка ее следа от области наибольшей кривизны до ее вершины. Данные напряжения также положительны и убывают по мере удаления от этой зоны преимущественно в положительном направлении по оси OY . Также на некотором удалении от следа полосы сдвига в положительном по оси OX направлении между областями положительных напряжений формируется область отрицательных напряжений.

В области I напряжения отрицательные. Максимальные по модулю значения напряжений зафиксированы у полосы сдвига, у области ее наибольшей кривизны. Напряжения убывают при удалении от этой области, а также вокруг середины ветви I полосы сдвига, где поля данных напряжений переходят из области I в область II. Также в области I отрицательные напряжения концентрируются в отрицательном по оси OX направлении от вершины полосы сдвига и убывают при удалении от нее.

Для формы полосы сдвига, описываемой функцией (6), где $A_1 = -1/200$ мкм; $B_1 = 100$ мкм, распределение плотности квазидислокаций по гармоническому закону, описываемому функцией (10), где $A_4 = 30 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$; $B_4 = 1/10 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, поля напряжений σ_{xx} представляют собой локальные области концентрации напряжений, расположенных на незначительном удалении от полосы сдвига в положительном и отрицательном направлениях по оси OX (рис. 5). Напряжения в области I чередуют знак в данных локальных областях концентрации напряжений. На некотором удалении от поверхности материала формируется область положительных напряжений. В отрицательном направлении по оси OY от данной области располагается зона отрицательных напряжений. Следом за ней по оси OY формируется область положительных напряжений. В области II на некотором удалении от поверхности концентрируются отрицательные положения. Следом за данной областью в отрицательном направлении по оси OY формируется область положительных напряжений. Далее вновь напряжения становятся отрицательными.

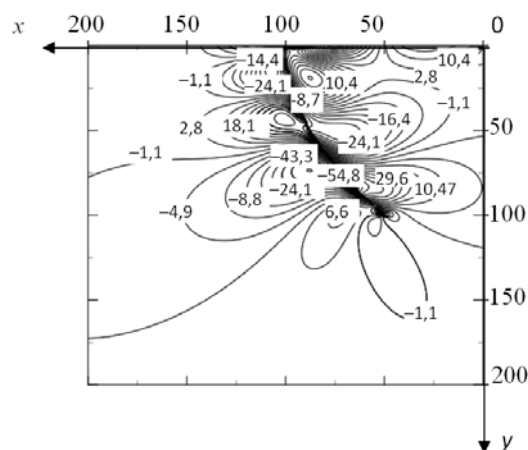


Рис. 5. Распределение напряжений у полосы сдвига, описываемой функцией (6), при нелинейном распределении плотности квазидислокаций, описываемом функцией (10)

Для полосы сдвига формы, описываемой функцией (6), где $A_1 = -1/200$ мкм; $B_1 = 100$ мкм, распределение плотности квазидислокаций по гармоническому закону, описываемому функцией (10), где $A_4 = 30 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$; $B_4 = 1/10 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, наибольшие напряжения σ_{yy} напряжения в областях I, II локализируются периодически вдоль следа полосы сдвига на некотором удалении от него. В области II напряжения сконцентрированы у поверхности материала у устья полосы сдвига. Эти напряжения положительны. Поля напряжений, формирующиеся у следа полосы сдвига, локализируются на некотором удалении от него у 1 и 2 ветвей полосы, а также у области наибольшей кривизны, а именно: у ветви 1 локализованы поля положительных напряжений; у области наибольшей кривизны – отрицательных; у ветви 2 концентрируются положительные напряжения.

В положительном по оси OY направлении от вершины полосы сконцентрированы поля отрицательных напряжений, значения которых убывают при удалении от этой области преимущественно в положительном направлении по оси OY . В области I поля напряжений, как отмечалось выше, носят периодический характер. Напряжения, вызванные у поверхности материала, у устья полосы сдвига отрицательные. У ветви 1 полосы на некотором удалении от нее в отрицательном направлении по оси OX формируются поля положительных напряжений. У области наибольшей кривизны полосы сдвига в отрицательном направлении по осям OX и OY концентрируются поля отрицательных напряжений. У ветви 2 также на некотором удалении от полосы сдвига формируется область положительных напряжений.

Для полосы сдвига формы, описываемой функцией (6), где $A_1 = -1/200$ мкм; $B_1 = 100$ мкм, распределение плотности квазидислокаций по гармоническому закону, описываемому функцией (10), где $A_4 = 30 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$; $B_4 = 1/10 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, в области II напряжения имеют 5 максимумов, несколько удаленных от следа полосы сдвига. Так, первая область локализации положительных напряжений расположена на некотором удалении от устья полосы сдвига в положительную по оси OX сторону, а также на некотором удалении от поверхности материала. Также на некотором удалении от полосы сдвига вдоль ее следа формируется область отрицательных напряжений.

Далее также на некотором удалении от нее вдоль следа полосы сдвига формируются следом друг за другом области положительных и отрицательных напряжений. В положительном направлении от вершины полосы сдвига по оси OY концен-

трируются положительные напряжения, которые убывают при удалении от этой области преимущественно в положительном по оси OY направлении.

В области I напряжения также знакопеременны. В отрицательном направлении вдоль оси OX от полосы ветви I полосы сдвига на некотором расстоянии от поверхности материала и от следа полосы формируются поля положительных напряжений. У области наибольшей кривизны полосы сдвига формируется область отрицательных напряжений. Данные напряжения уменьшаются по модулю по мере удаления от этой области преимущественно в отрицательных направлениях по осям OX и OY .

Также на удалении от ветви 2 полосы сдвига в отрицательных направлениях по осям OX и OY формируется область положительных напряжений. В отрицательном направлении по оси OX , положительном по оси OY от вершины полосы сдвига концентрируются отрицательные напряжения. У устья полосы сдвига концентрируются отрицательные напряжения. Значения их уменьшаются по мере удаления от поверхности материала и у середине ветви I становятся положительными. Далее вдоль следа полосы сдвига напряжения вновь становятся отрицательными и достигают максимума по модулю у середины ветви 2.

Заключение

Основываясь на теории контактного взаимодействия упругих тел несогласованной формы, предложенной в [13], [14], при использовании методики расчета полей напряжений у криволинейной полосы сдвига типа чушуйчатого навала, находящегося у поверхности металлического стекла [12], была предложена методика определения полей напряжений в металлическом стекле при деформировании его поверхности сосредоточенной нагрузкой в случае формирования полосы сдвига у поверхности материала. Получены расчетные данные, согласно которым можно описать картину распределения напряжений в материале и выявить наиболее нагруженные участки, где возможно развитие трещины и дальнейшее разрушение материала.

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. Верещагин, М. Н. Аналогии и различия в развитии сдвиговой пластической деформации при локальном деформировании аморфных и монокристаллических материалов / М. Н. Верещагин, О. М. Остриков // Изв. высш. учеб. заведений. Черная металлургия. – 2003. – № 3. – С. 35–37.
3. Верещагин, М. Н. Дислокационная модель полос сдвига в аморфных материалах / М. Н. Верещагин, О. М. Остриков, С. Н. Цыбранкова // Изв. РАН. Механика твердого тела. – 2004. – № 4. – С. 98–105.
4. Глезер, А. М. Структура и механические свойства аморфных сплавов / А. М. Глезер, Б. В. Молотилев. – М. : Металлургия, 1992. – 208 с.
5. Судзуки, К. Аморфные металлы / Х. Фудзимори, К. Хасимото ; под ред. Ц. Масумото. – М. : Металлургия, 1987. – 328 с.
6. Алехин, В. П. Структура и физические закономерности деформации аморфных сплавов / В. П. Алехин, В. А. Хоник. – М. : Металлургия, 1992. – 248 с.
7. Прецизионные сплавы : справочник / А. И. Радьков [и др.]. – М. : Металлургия, 1980. – С. 11–16.
8. Металлические стекла / под ред. Д. Д. Гильмана, Х. Д. Лими. – М. : Металлургия, 1984. – 264 с.

9. Золотухин, И. В. Физические свойства аморфных металлических материалов / И. В. Золотухин. – М. : Metallurgia, 1986. – 176 с.
10. Рюмцев, А. А. Методика расчета полей напряжений в металлических стеклах у полос сдвига в форме изогнутых лучей / А. А. Рюмцев, О. М. Остриков // Весн. Магіл. дзярж. ун-та імя А. А. Куляшова. – 2015. – № 2 (46). – С. 63–72.
11. Рюмцев, А. А. Поля напряжения в металлическом стекле у полос сдвига типа волнистых лучей / А. А. Рюмцев, О. М. Остриков // Вестн. Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2015. – Т. 11, № 6. – С. 24–27.
12. Рюмцев, А. А. Методика расчета полей напряжений у криволинейной полосы сдвига типа чешуйчатого навала, находящегося у поверхности металлического стекла / А. А. Рюмцев, О. М. Остриков // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2015. – № 4 (94). – С. 39–46.
13. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М. : Мир, 1989. – 510 с.
14. Остриков, О. М. Механика двойникования твердых тел : монография / О. М. Остриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 301 с.
15. Корн, Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1974. – 832 с.
16. Остриков, О. М. Уравнение равновесия криволинейной полосы сдвига, находящейся у поверхности аморфного материала / О. М. Остриков // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2012. – Т. 17, № 4. – С. 17–21.

Получено 12.09.2017 г.