

05.1; 05.3

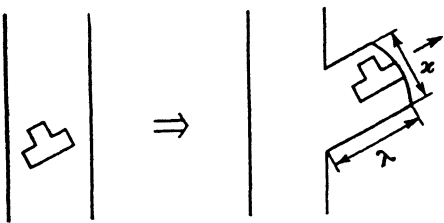
© 1990

ОБ АМОРФИЗАЦИИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ МЕТАЛЛОВ

И.А. О в и д ь к о

Твердофазная аморфизация металлов при механической обработке (холодной прокатке [1-5], механическом измельчении [6-8], механическом плавлении [8]) есть предмет интенсивных экспериментальных исследований. Микроскопические (физические) механизмы аморфизации пластически деформируемых металлов в настоящее время не ясны. Экспериментальные данные [9] по исследованию твердофазной аморфизации металлов при термообработке, данные [5] по наблюдению полной аморфизации деформируемых аморфно-кристаллических металлов и данные [10] по наблюдению „некристаллографических“ полос сдвига с неупорядоченной (близкой к аморфной) структурой в металлах при прокатке свидетельствуют об особой роли планарных дефектов – границ зерен [9, 10] и межфазных границ [5] как областей, на которых осуществляется зарождение аморфной фазы. Эти экспериментальные данные послужили посылкой для предлагаемой в настоящей работе модели, которая описывает твердофазную аморфизацию деформируемых металлов как процесс, связанный с расплыванием границ фрагментов – границ зерен деформационного происхождения.

При развитой пластической деформации, которая предшествует началу аморфизации, идет интенсивная фрагментация кристаллических металлов, сопровождающаяся формированием большого числа границ фрагментов [1, 2]. Структура таких границ (как и структура обычных границ зерен) эффективно представима как ансамбль дисклинационных дефектов особого вида [11, 12]. Неупорядоченность, характерная для структуры границ фрагментов [13], задает в рамках подхода [11, 12] неупорядоченность пространственной организации модельного ансамбля дисклинаций. Это означает, в частности, что в границах фрагментов присутствуют дисклинационные конфигурации, которые: а) имеют неэкранированные поля напряжений в силу неупорядоченности структуры границ фрагментов



Элементарный акт локальной аморфизации - расплывание границы фрагмента, связанное с перемещением (фрагментно-границной) дисклинационной конфигурации в глубь фрагмента.

(в отличие от экранированных конфигураций дисклинаций, моделирующих „равновесные“ границы зерен [12]); б) эквивалентны дислокациям с флуктуирующими векторами Бюргерса и, следовательно, способны быть переносчиками пластической деформации (аналогично дисклинационным конфигурациям в металлических стеклах [14-16]). Такие конфигурации, характеризующиеся векторами Бюргерса, непараллельными плоскости границы фрагмента, под действием касательных напряжений способны перемещаться в глубь кристаллического фрагмента, что приводит к расплыванию границы (рисунок). Поскольку вектор Бюргерса описываемых дисклинационных конфигураций не является решеточным, то их перемещение сопровождается формированием локальной области с неупорядоченной структурой („размазанного“ дефекта упаковки) (рисунок), которую естественно трактовать как зародыш аморфной фазы.

Процесс расплывания границ фрагментов (локальная твердофазная аморфизация) является одним из каналов релаксации касательных напряжений в нагружаемых металлах. Он подготавливается ротационной деформацией и, аналогично дислокационному скольжению и ротационной деформации, способен при определенных условиях успешно конкурировать с процессом разрушения, т.е. предшествовать ему. Чтобы показать это, рассмотрим энергетические характеристики процесса расплывания границ фрагментов. При перемещении дисклинационной конфигурации из границы во внутреннюю область фрагмента работа внешней механической нагрузки расходуется на образование локальной аморфной области и на изменение полей напряжений дефектов. В этом случае справедливо следующее уравнение энергетического баланса:

$$\tau \delta \lambda L \approx \epsilon_A \xi \lambda L - \frac{\mu b^2 L}{4\pi(1-\nu)} \ln \left(\frac{\lambda + \delta}{\delta} \right), \quad (1)$$

где $\tau \delta \lambda L$ - работа внешней нагрузки, расходуемая на перемещение (на расстояние λ) дисклинационной конфигурации, характеризующейся вектором Бюргерса \vec{b} , длиной L и „шириной“ ξ (рисунок); τ - касательное напряжение; μ - модуль сдвига; ν - коэффициент Пуассона; ϵ_A - плотность энергии аморфной области, образовавшейся при перемещении конфигурации (рисунок); δ - характеристический масштаб полей напряжений границы фрагмента. Первый член в правой части (1) представляет собой энергию новой аморфной фазы, второй член - изменение упругой энергии дефектов,

связанное с перемещением конфигурации. Выражение для изменения упругой энергии получено в рамках модельного представления границы фрагмента как стенки дисклинационных конфигураций (дислокаций), характеризующейся пространственным периодом. δ и содержащей избыточную конфигурацию дисклинаций, перемещение которой в глубь фрагмента есть элементарный акт расплывания границы.

Уравнение (1) после деления обеих его частей на $\delta \lambda L$ задает касательное напряжение τ , обеспечивающее расплывание границы фрагмента, как функцию от δ . Функция $\tau(\delta)$ убывает с ростом δ .

Это означает, что с увеличением неупорядоченности структуры границы фрагмента, т.е. с ростом в ходе ротационной деформации плотности и дислокационных зарядов избыточных дисклинационных конфигураций в границе, склонность границы к расплыванию увеличивается. Для характеристических значений параметров $E_A \mu / 72$, $\lambda \sim 5a$, $\alpha \sim (3-5)a$, $\nu \sim 0.4$, $\beta \sim a$ (где a - параметр кристаллической решетки), получаем величину $\tau \sim \mu / 50 - \mu / 21$, соизмеримую с теоретической прочностью ПЧК-металлов [17] $\tilde{\tau} \sim \mu / 25 - \mu / 17$. Это свидетельствует о том, что процесс аморфизации деформируемого металла, осуществляемый посредством расплывания границ фрагментов, может предшествовать разрушению, если $\tau < \tilde{\tau}$, т.е. если структура границ сильно неупорядочена (достаточно „подготовлена“ ротационной деформацией). В этом случае структура деформируемого металла эволюционирует следующим образом. С ростом степени пластической деформации развивается дислокационное скольжение; затем развивается ротационная деформация, сопровождающаяся генерированием границ фрагментов [13]; плотность структуры и разориентировки границ увеличиваются [1, 2, 13]; вблизи концентраторов напряжений идет локальная аморфизация (расплывание границ); аморфная фаза растет; развиваются трещины.

Таким образом, возможным микроскопическим механизмом твердофазной аморфизации металлов при механической обработке является расплывание границ фрагментов. Процесс аморфизации при этом трактуется как особый кинетический фазовый переход, связанный со сменой элементарного акта кинетики (в данном случае пластической деформации) системы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Павлов В.А. // ФММ. 1985. Т. 59. № 4. С. 629-649.
- [2] Павлов В.А. // ФММ. 1989. Т. 67. № 6. С. 924-944.
- [3] Atzmon M., Unruh K.M., Johnson W.L. // J. Appl. Phys. 1985. V. 58. N 10. P. 3865-3870.
- [4] Schultz L. In: Amorphous Metals and Non-equilibrium Processing. Ulis: Edit. de Physique, 1984. P. 135-139.
- [5] Askénazy P.D., Kamenetzky E.A., Tanner L.E., Johnson W.L. // J. Less. Common Metals. 1988. V. 140. P. 149-160.

- [6] Ермаков А.Е., Юрчилов Е.Е., Баринов В.А. // ФММ. 1981. Т. 52. № 6. С. 1184-1193.
- [7] Schwarz R.B., Kosch C.C. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 49. N 3. P. 146-148.
- [8] Schwarz R.B. // Mater. Sci. Eng. 1988. V. 97. P. 71-78.
- [9] Sammer K., Schrodner H., Pampus K. // Mater. Sci. Eng. 1988. V. 97. P. 63-69.
- [10] Korbel A., Martin P. // Acta Metall. 1986. V. 34. N 10. P. 1905-1909.
- [11] Овидько И.А. // Phys. Stat. Sol. (b). 1989. V. 151. N 1. P. K7-K9.
- [12] Овидько И.А. // Металлофизика. 1990. Т. 12. № 1. С. 81-86.
- [13] Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. М.: Металлургия, 1986. 232 с.
- [14] Овидько И.А. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 7. С. 443-446.
- [15] Овидько И.А. // ФММ. 1989. Т. 67. № 4. С. 649-654.
- [16] Овидько И.А. // Phil Mag. B. 1989. V. 59. N 5. P. 523-534.
- [17] Могилевский М.А., Мынкин И.О. // ФГВ. 1988. Т. 24. № 6. С. 106-111.

Поступило в Редакцию
25 января 1990 г.
В окончательной редакции
5 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 13

12 июля 1990 г.

01; 09

© 1990

НЕЛИНЕЙНЫЕ S-ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ МОДЫ В ВОЛНОВОДЕ

Е.С. Киселева, П.И. Хаджи

В настоящее время широко исследуются эффекты распространения нелинейных волн на границе раздела двух сред, в трехслойных и многослойных системах (волноводы). В ряде работ [1-3] такие исследования проведены для керровских сред с использованием квадратичной зависимости диэлектрической функции от электромагнитного поля. Однако часть сред проявляет соответствующую неквадратичную зависимость от поля. Поэтому более целесообразным