

05.1; 12

© 1992

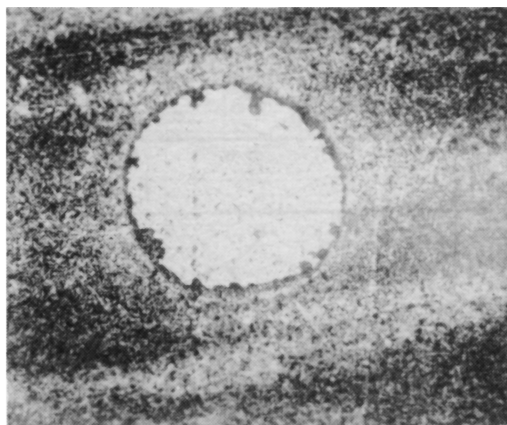
АНОМАЛЬНАЯ СДВИГОВАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ,
ИНИЦИИРУЕМАЯ УДАРНЫМ НАГРУЖЕНИЕМ

С.А. А т р о ш е н к о, Ю.И. М е ш е р я к о в

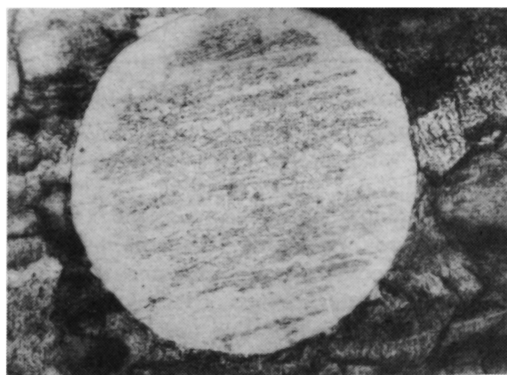
Изучение сдвиговой локализации важно для понимания физики явлений, лежащих в основе гетерогенизации процесса динамического деформирования. Термин „адиабатический сдвиг“ используют для того, чтобы подчеркнуть, что большая часть тепла в процессе деформирования остается локализованной в некоторой узкой области, имеющей вид полосы. В действительности, сдвиговая локализация осуществляется на некоторой поверхности, но так как области локализации наблюдаются в поперечных разрезах образцов, то вместо поверхностей обычно видят полосы.

При ударном нагружении в условиях одноосной деформации в ряде материалов (медь, вязкие стали, сплав медь-марганец и др.) нами было зафиксировано образование весьма необычных поверхностей сдвиговой локализации, имеющих форму идеально круглых плоских дисков размерами от десятков до тысяч микрон и толщиной не более 20 мкм. Как оказалось, в отличие от остальной матрицы (поликристаллов с размерами зерен от 10 до 200 мкм для разных материалов), составляющий эти диски материал представляет собой типичную нанокристаллическую структуру. Хотя ударное нагружение осуществлялось при относительно невысоких скоростях соударения ($\sim 30-450$ м/с), недостаточных для образования областей локального плавления материала, текучесть материала дисков оказалась чрезвычайно высокой, достаточной для того, чтобы в течение очень короткого промежутка времени в доли микросекунды силы поверхностного натяжения смогли стянуть области локализации в идеально круглые диски (в соответствии с принципом минимума свободной энергии).

Условия одноосной деформации были реализованы с помощью пневматической пушки калибра 37 мм. Исследуемые материалы – стали: 35ХН2МФА, 30ХН4М, 28Х3СНМВФА; сплав медь-марганец; медь: монокристалл, М0, М2, М3 – в форме дисков диаметром 52 мм и толщиной 2–10 мм – нагружались при скоростях ударника в диапазоне 30–450 м/с. Кроме скорости ударника, в каждом опыте с помощью лазерного дифференциального интерферометра регистрировали пространственно-временной профиль скорости свободной поверхности $U_{fs}(t)$, а также ширину распределения частиц по скоростям $\Delta U_{fs}(t)$ [1]. Последняя характеристика по своему масштабному уровню относилась к так называемому



а



б

Рис. 1. Фотографии микроструктур с областями сдвиговой локализации в стали 35ХН2МФА (а х125) и меди М2 (б х125).

мезоскопическому уровню [2], и являлась количественной мерой разброса мезообъемов по скоростям. Таким образом, используемая методика регистрации позволяла рассчитать на основе измеренных значений средней и локальных скоростей частиц среднее нормальное напряжение и локальное сдвиговое напряжение. Оказалось, что для меди среднее нормальное напряжение составило $\sigma_x = 27.2$ кбар, а среднее сдвиговое напряжение $\tau_x = 2.14$ кбар, в то время как локальное сдвиговое напряжение может достигать $\tau_l = 2.7$ ГПа. Таким образом, динамическое нагружение обеспечивает кратковременные условия для весьма уникального сочетания достаточно высокого гидростатического давления и продольного сдвигового напряжения.

После нагружения образцы разрезались по одной из плоскостей вдоль направления распространения волны, делали микрошлиф и травили на зерно. При этом на фоне зеренной структуры выявлялись нетравящиеся зеркальные пятна идеально круглой формы,

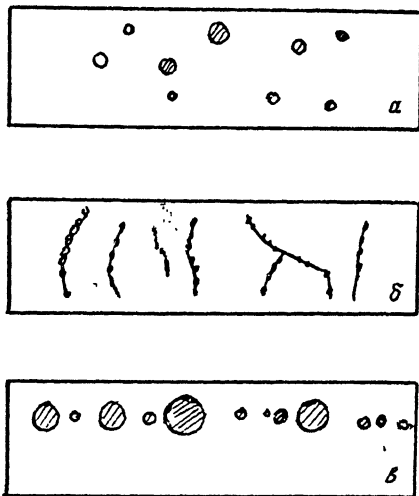


Рис. 2. Картина расположения 3-х типов областей сдвиговой локализации на продольных шлифах мишени.

размеры которых, как правило, значительно превосходят размеры зерен. Две из фотографий такого диска представлены на рис. 1. В том случае, если разрез осуществляли по плоскостям, параллельным нагружаемой или свободной поверхности мишени (т.е. перпендикулярным направлению распространения волны), областей сдвиговой локализации обнаружено не было (как и в исходных образцах). Тот факт, что продольные разрезы мишеней осуществляли произвольным образом, выполняя единственное требование, чтобы плоскость разреза совпадала с направлением распространения волны, и каждый раз обнаруживали конечное число таких областей, свидетельствует об их высокой плотности. Толщина областей сдвиговой локализации (ОСЛ) составила ~ 20 мкм.

Как показывают исследования образцов после ударного нагружения, сдвиговая локализация может быть реализована в виде 3-х основных типов: 1) равномерно рассеянные по всему продольному сечению круглые диски диаметром до 25 мкм; 2) протяженные треки длиной 800–1300 мкм и шириной 20–50 мкм, состоящие из мелких (диаметром 1–3 мкм) круглых дисков; 3) идеально круглые диски диаметром 200–2000 мкм, расположенные в один ряд на некотором расстоянии от свободной поверхности мишени. Качественная картина расположения перечисленных типов ОСЛ на продольных шлифах мишени показана на рис. 2. Первые два типа сдвиговой локализации зарождаются при первичном (прямом) прохождении ударной волны через образец. Третий тип является результатом интерференции волн сжатия, отраженных от свободных поверхностей мишени и ударника. Фазовая диаграмма взаимодейст-

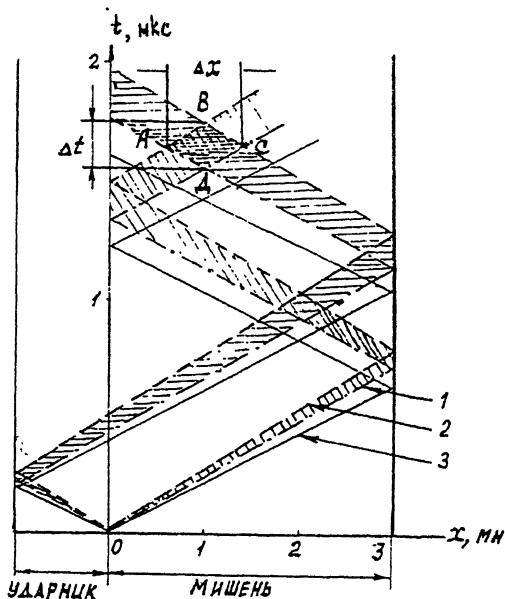


Рис. 3. Фазовая диаграмма взаимодействия волн. 1 - $C_s = 4.18 \times 10^5$ см/с; 2 - $C_p = 3.9 \cdot 10^5$ см/с, 3 - $C_{\text{упр}} = 4.7 \cdot 10^5$ см/с.

вия волн после соударения ударника и мишени и отражения от свободных поверхностей показана на рис. 3. Она построена для частного случая образования области локализации размером $D = 800 \mu\text{м}$ на расстоянии 4.1 мм от свободной поверхности 5 -мм мишени в меди МО и предполагает длительность взаимодействия волн, равную ~ 150 нс. Видно, образование данной области происходит за счет взаимодействия семейства пластических волн со скоростями в диапазоне от $3.9 \cdot 10^5$ см/с до $4.18 \cdot 10^5$ см/с.

Предварительные оценки величины сдвиговой деформации в указанной области и температуры дают $\gamma \sim 3.9$ и $T = 540$ К соответственно; эти данные, согласно [3], отвечают условиям развития процесса рекристаллизации в меди. В этих условиях высокая текучесть материала в области сдвиговой локализации, позволяющая им принять форму идеально круглого диска в течение десятков сотен наносекунд, объясняется сверхпластичностью нанокристаллической структуры области сдвиговой локализации в условиях процесса перекристаллизации.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Мешеряков Ю.И., Диваков А.К., Кудряшов В.Г. // ФГВ. 1988. № 2. С. 126-134.
- [2] Владимиров В.И., Иванов В.Н., Приемский Н.Д. В кн.: Физика пластичности и прочности, Л.: Наука, 1986. С. 69-99.
- [3] Meyer M.A., Chokshi A.H. // Scripta Metallurgica. 1990. V. 24. P. 605.