

МЕХАНИЗМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Соковиков М.А., Чудинов В.В., Наймарк О.Б.
Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь,
Россия, sokovikov@icmm.ru

Локализация пластической деформации в металлах при динамическом деформировании может быть следствием влияния различных факторов: температуры, скорости и величины деформации, эволюции структуры материала. На сегодняшний день существует две наиболее распространённые точки зрения о механизмах локализации деформации: термопластическая неустойчивость и механизмы, связанные с эволюцией структуры. Целью данной работы является теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение решающей роли структурных переходов в ансамбле дефектов мезоуровня (микросдвигов и микротрещин) как одного из механизмов локализации пластической деформации.

В качестве исследуемого материала был выбран сплав Д16 и АМгб. Термодинамика процесса деформирования с целью идентификации характерных стадий локализации деформации исследовалась «in-situ» регистрацией температурных полей с использованием высокоскоростной инфракрасной камеры CEDIP Silver 450M. Основные технические характеристики камеры: чувствительность не менее 25 мК при 300°К, спектральный диапазон 3-5 мкм, максимальный размер кадра 320x240 точек.

Для исследования поведение материалов в режиме близком к чистому сдвигу при динамическом нагружении на стержне Гопкинсона – Кольского были разработаны образцы специальной формы и оснастка, обеспечивающие реализацию плоского деформированного состояния [1]. Полученные распределения температурных полей на боковой поверхности образца в различные моменты времени позволили судить о развитии процесса локализации пластической деформации.

В процессе деформирования на стержне Гопкинсона -Кольского с помощью инфракрасной камеры в режиме реального времени установлено, что значения температур в областях локализации пластической деформации не превышают ~48°С для сплава Д16, рис. 1, 2.

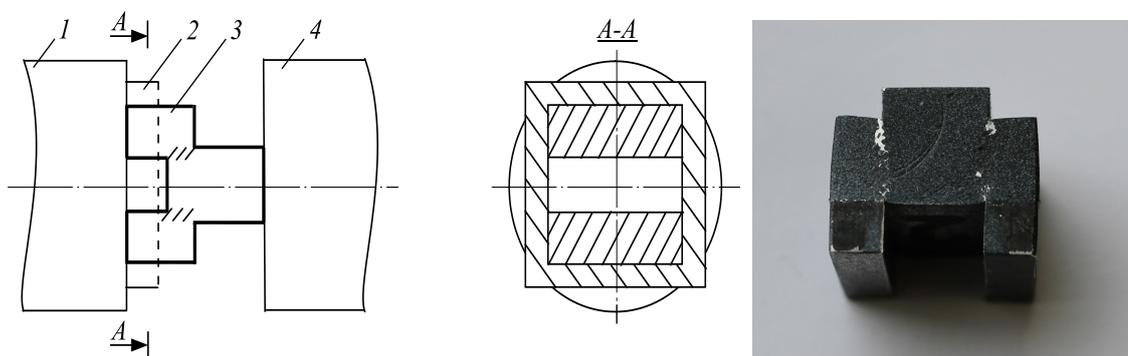


Рисунок 1- а) Схема нагружения образца на стержне Гопкинсона –Кольского: 1- входной стержень, 2- рамка, 3 – образец, заштрихованные области находятся в состоянии близком к чистому сдвигу, 4 – выходной стержень. б) Образец специальной формы после после испытания, сплав Д16.

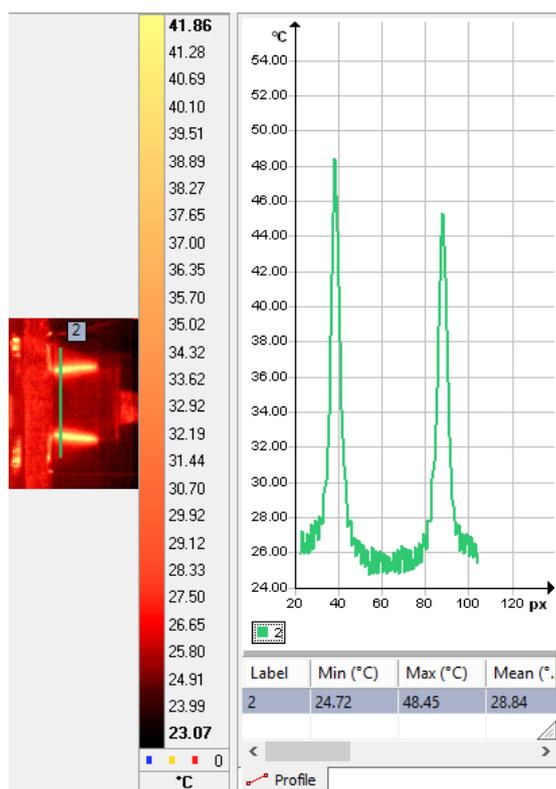


Рисунок 2- Изображение образца в инфракрасных лучах в процессе испытания образца из сплава Д16 и график зависимости температуры от координаты в выбранный момент времени. Максимальная температура по периметру отверстия 48⁰ С

На оригинальной баллистической установке по исследованию пробивания были нагружены образцы из сплава алюминия АМг6. При высокоскоростном взаимодействии ударника с мишенью реализуется разрушение в виде формирования и выноса пробки. Для исследования распределения пластических деформаций на тыльной поверхности мишени в процессе формирования и выноса пробки использовалась инфракрасная камера CEDIP Silver 450M [2]. Схема и результаты испытаний при налетании ударника на преграду из АМг6 со скоростью 417м/с представлены на рис.3.

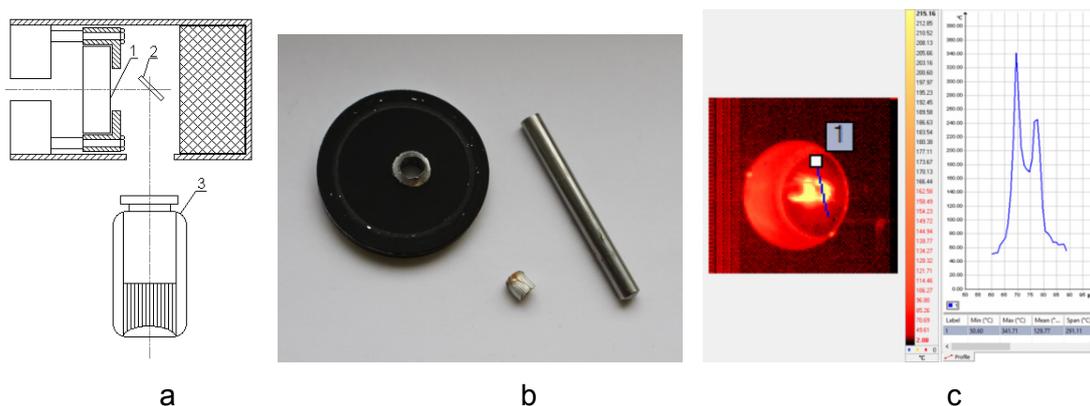


Рисунок 3 - Схема эксперимента, 1 – образец, 2 – зеркало, 3 – инфракрасная камера (а); пробитая мишень, выбитая пробка и деформированный ударник (b); инфракрасные образ отверстия после пробивания и график зависимости температуры от координаты в выбранный момент времени (с)

Данные экспериментальных исследований, изучение структуры деформированных образцов [3-5], а также данные численного моделирования, проведенного с учетом особенностей кинетики накопления микродефектов в материале [6-10] позволяют предполагать, что один из механизмов локализации

пластической деформации при высокоскоростном нагружении обусловлен структурно-кинетическими переходами в ансамблях микродефектов.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 17-08-00905_а, 17-41-590149 р_а, 16-48-590534 р_а, 18-08-01186_а.

Литература

1. Образец для испытания на сдвиг (варианты) и способ испытаний его: пат. 2482463 Российская Федерация / Наймарк О.Б., Баяндин Ю.В., Соковиков М.А., Плехов О.А., Уваров С.В., Банников М.В., Чудинов В.В. – № 2011114711/28; заявл. 14.04.2011; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 14.
2. Соковиков М.А., Билалов Д.А., Чудинов В.В., Уваров С.В., Плехов О.А., Терехина А.И., Наймарк О.Б. Неравновесные переходы в ансамблях дефектов при динамической локализации пластической деформации // Письма в Журнал технической физики. – 2014. - Том.40, Выпуск 23. - с.82 -88.
3. Froustey C., Naimark O., Bannikov M., Oborin V., Microstructure scaling properties and fatigue resistance of pre-strained aluminium alloys (part 1: Al-Cu alloy). *European Journal of Mechanics A/Solids*, 2010, no. 29, pp. 1008-1014.
4. Oborin V.A., Bannikov M.V., Naimark O.B., Palin-Luc T. Masshtabnaja invariantnost' rosta ustalostnoj treshhiny pri gigaciklovom rezhime nagruzhenija [Scaling fatigue crack growth at gigacycle loading regime] *Pis'ma v zhurnal tehnichekoj fiziki – Technical Physics Letters*, 2010, Vol. 36, no. 22, pp. 76-82.
5. Sokovikov M.A., Bilalov D.A., Oborin V.A., Chudinov V.V., Uvarov S.V., Bayandin Yu.V., Naimark O.B. Structural mechanisms of formation of adiabatic shear bands // *Fracture and structural integrity*. – 2016. – No 38. – P. 280-287.
6. Naimark O.B. Kinetic transition in ensembles of microcracks and some nonlinear aspects of fracture // *Proc. IUTAM Symposium on nonlinear analysis of fracture*. Cambridge, United Kingdom, September 3-7, 1995. – P. 285-298.
7. Наймарк О. Б. Коллективные свойства ансамблей дефектов и некоторые нелинейные проблемы пластичности и разрушения // *Физическая мезомеханика*. – 2003. – Т. 6, № 4. – С. 45-72.
8. Соковиков М.А., Баяндин Ю.В., Ляпунова Е.А., Плехов О.А., Чудинов В.В., Наймарк О.Б. Локализация пластического сдвига и механизмы разрушения при динамическом нагружении металлов // *Вычислительная механика сплошных сред*. – 2013. – Т. 6, № 4. – С. 467-474.
9. Билалов Д.А., Соковиков М.А., Чудинов В.В., Оборин В.А., Баяндин Ю.В., Терехина А.И., Наймарк О.Б. Исследование локализации пластического сдвига в алюминиевых сплавах при динамическом нагружении // *Вычислительная механика сплошных сред*. – 2015. – Т. 8, №3. – С. 319-328.
10. Билалов Д.А., Соковиков М.А., Чудинов В.В., Оборин В.А., Баяндин Ю.В., Терехина А.И., Наймарк О.Б. Численное моделирование и экспериментальное исследование локализации пластической деформации при динамическом нагружении образцов в условиях близких к чистому сдвигу // *Вычислительная механика сплошных сред*. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 103-112.