

ВЫСОКОСКОРОСТНАЯ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИЯ ЛОКАЛЬНЫХ АКТОВ ДЕФОРМАЦИИ В МАТЕРИАЛАХ

Селезнев М. Н.

Руководитель - проф., к.ф.-м.н. Виноградов А. Ю.

Тольяттинский Государственный Университет, г. Тольятти,

lehoma@mail.ru

С целью высокоскоростной видеозаписи локальных актов деформации, возникающих в нагруженных твердых телах в непредсказуемый момент времени, предлагается метод синхронизации оптических систем и событий с помощью акустической эмиссии. Эффективность предложенного метода продемонстрирована на двух примерах: наблюдение зарождения и распространения сильно локализованных полос сдвига в металлических стеклах и механическое двойникование магния.

Понимание прочностного и деформационного поведения материалов в значительной мере основывается на визуализации не только микроструктуры в разных пространственных масштабах, но и элементарных механизмов эволюции микроструктуры во времени: скольжение дислокаций, механическое двойникование, зарождение и рост микротрещин и т.д. Недавнее появление и быстрое развитие цифровых высокоскоростных видеокамер с частотой съемки в 10^5 - 10^6 кадров в секунду (fps) дает возможность изучения широкого класса динамических явлений в твердых телах при внешнем воздействии (нагрузка, тепло, и т.д.).

Видеорегистрация вышеописанных явлений требует пространственно-временной локализации событий с достаточным разрешением. Пространственная локализация достигается путем (i) придания специальной формы образцу (например, концентраторы напряжения), (ii) микроскопического увеличения (iii), фиксирования области наблюдения при механическом испытании. Т. к. видеосъемка с частотой 10^5 - 10^6 fps заполняет всю память камеры в течение максимум нескольких секунд, необходима синхронизация видеозаписи и события с помощью некоего триггер-сигнала. В качестве последнего, как правило, используют сброс нагрузки, сопровождающий явления локализованной деформации [1]. Если, однако, событие не вызывает заметной релаксации напряжений (например, механическое двойникование в малом зерне) синхронизация становится сложной проблемой.

Среди явлений, сопровождающих появление и развитие дефектов в твердых телах, акустическая эмиссия (АЭ) является одним из самых универсальных, т.к. она генерируется любым достаточно быстрым и локальным структурным превращением. Чрезвычайная чувствительность к смещению поверхности до 10^{-14} м и временное разрешение менее 1 мкс делает метод АЭ особенно привлекательным для наблюдения таких

локализованных деформационных процессов в реальном времени, как скольжение дислокаций, механическое двойникование, фазовые превращения [2]. Поскольку метод АЭ дает лишь косвенную информацию о микроструктурных изменениях, была доказана польза применения его совместно с высокоскоростной видеозаписью [3]. В настоящей работе предложено использование АЭ в качестве триггер-сигнала для высокоскоростной видеозаписи, что позволяет успешно регистрировать быстрые динамические события с произвольным временем появления.

Схема экспериментальной установки, использованной для проверки метода, показана на рисунке 1. Для механического нагружения используется компактная разрывная машина Kammrath&Weiss (K&W) GmbH. Захваты машины движутся одновременно в противоположных направлениях, обеспечивая, таким образом, неподвижность центральной части образца.

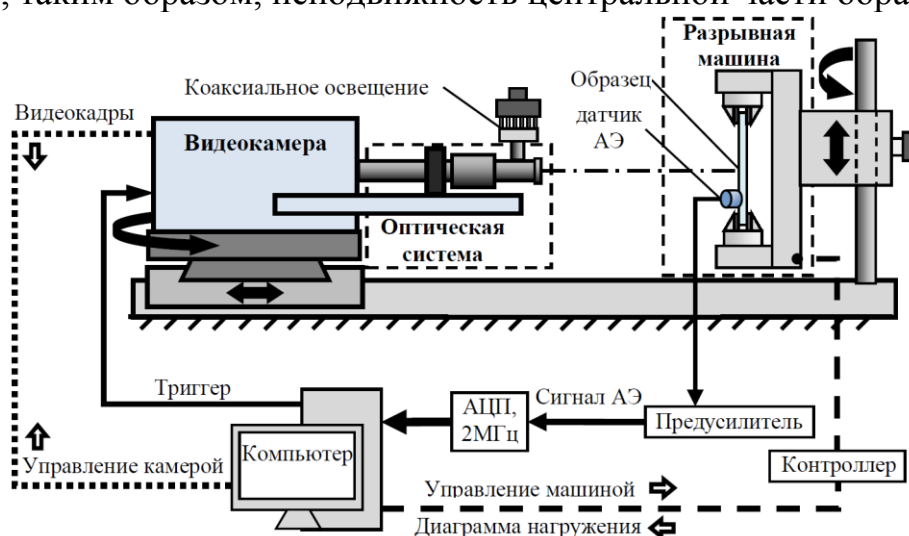


Рисунок 1. Принципиальная схема установки механического испытания с высокоскоростной микро-видеосъемкой по сигналу АЭ.

Разрывная машина K&W и высокоскоростная видеокамера Photron™ FASTCAM SA3 (скорость съемки до 120 тыс. fps) установлены на оптическом рельсе. Система имеет достаточно степеней свободы для точного позиционирования образца в фокальной плоскости без ущерба для жесткости. Оптическое разрешение до 0.4 мкм/пиксель достигается микроскопической системой Navitar™ «Zoom 6000» с коаксиальным освещением при помощи самодельного светодиодного источника мощностью 50W. Система АЭ состоит из датчика PICO (диапазон частот 200-750 кГц) предусилителя PAC (усиление 20-60 дБ), платы сбора данных PCI-2 (Physical Acoustics Corp.) с разрешением по амплитуде 18 бит.

Когда импульс АЭ от исследуемого события превышает заданное значение амплитуды, плата PCI-2 генерирует триггер-сигнал. Буферная память видеокамеры находится в непрерывном цикле перезаписи. Триггер-сигнал останавливает цикл, сохраняя нужные кадры записи. Задержка синхронизации составляет несколько мкс, что более чем достаточно для

данной задачи (подробное описание формы сигнала и установки приведено в работе [4]).

Примером работы данного метода могут служить два типа быстрых событий в твердых телах под нагрузкой: инициирование и распространение полос сдвига (ПС) в металлическом стекле (рисунок 2а) и механическое двойникование магния (рисунок 2б). Нижняя граница скорости двойникования составила 9 м/с, фронта ПС – 3 м/с, что достаточно для генерации сигнала АЭ большой амплитуды [5].

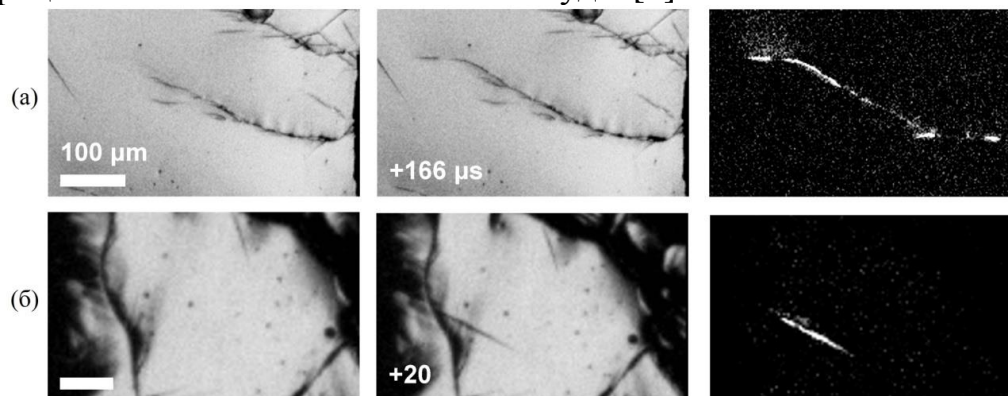


Рисунок 2. Пример высокоскоростного детектирования событий в материалах: полоса сдвига в объемном металлическом стекле (а), двойник магния (б) с частотой кадров 6 и 50 тысяч кадров в секунду, соответственно. Левый ряд: кадр с масштабным отрезком в 100 мкм. Средний ряд: следующий кадр с указанной разницей во времени в мкс. Правый ряд: разность кадров по интенсивности четко определяет форму и расположение событий.

Таким образом, представленная техника является простым и эффективным решением высокоскоростной видеосъемки динамических процессов в твердых телах. Кроме того, АЭ обеспечивает дополнительную информацию в режиме реального времени что способствует более глубокому пониманию исследуемых явлений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Министерства Образования и Науки (11.G34.31.0031) и из Инвестиционного Фонда Самарской области (31.13.71).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Song S.X., Wang X.-L., Nieh T.G. Capturing shear band propagation in a Zr-based metallic glass using a high-speed camera // *Scr. Mater. Acta Materialia Inc.*, 2010. Vol. 62, № 11. P. 847–850.
2. Vinogradov A. et al. Effect of grain size on the mechanisms of plastic deformation in wrought Mg–Zn–Zr alloy revealed by acoustic emission measurements // *Acta Mater.* 2013. Vol. 61. P. 2044–2056.
3. Shibkov A.A., Zolotov A.E. Acoustic and optical monitoring of Lüders band in aluminum-magnesium 5456 alloy // *Crystallogr. Reports.* 2011. Vol. 56, № 1. P. 141–148.

4. Seleznev M., Vinogradov A. Note: High-speed optical imaging powered by acoustic emission triggering // Rev. Sci. Instrum. 2014. Vol. 85, № 7. P. 076103.

5. Vinogradov A. On shear band velocity and the detectability of acoustic emission in metallic glasses // Scr. Mater. Acta Materialia Inc., 2010. Vol. 63, № 1. P. 89–92.