

[4] Л и х а р е в К.К., У л ь р и х Б.Т. Системы с джоуэфсоновскими контактами. М.: МГУ, 1978. С. 15-29.

Поступило в Редакцию
10 ноября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 3

12 февраля 1990 г.

05.1

© 1990

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ НАГРУЖЕНИИ ХРУПКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.М. Ш и р я е в, А.Ф. Ш у р о в

Многие конструкционные материалы, бетоны, керамика, графит и т.д. относятся к классу хрупких композитов. При их нагружении практически отсутствует заметная макроскопическая пластическая деформация. Они характеризуются значительной структурной гетерогенностью, которая, в частности, проявляется в неоднородности их физико-механических свойств. В разрушении этих материалов существенное значение занимает фаза объемного накопления повреждений — микротрещин, характерный размер которых определяется размерами структурных элементов материала с последующим укрупнением и слиянием повреждений [1]. При прочностных испытаниях хрупких композитов и элементов конструкций на их основе экспериментатор сталкивается с большим разбросом результатов даже при испытаниях визуально идентичных образцов. Это затрудняет прогноз индивидуального ресурса деталей и элементов конструкций на основе данных базовых испытаний, диктует необходимость использования методов неразрушающего контроля прочности (НК), позволяющих контролировать кинетику дефектов под нагрузкой.

Известно, что параметры акустической эмиссии (АЭ), сопровождающей нагружение материала, с той или иной степенью точности отражают развитие поврежденности. Это служит основой огромного числа исследований, посвященных разработке принципов построения систем и методов НК по данным АЭ. Наиболее простой и естественной представляется связь суммарной АЭ n_{Σ} , т.е. числа элементарных актов (событий) АЭ, с числом микротрещин и их скачков в хрупком гетерогенном материале. Информативность этого параметра для задач НК доказывает то обстоятельство, что практически все используемые в нашей стране и за рубежом средства акустоэмиссионного контроля обеспечивают измерения n_{Σ} .

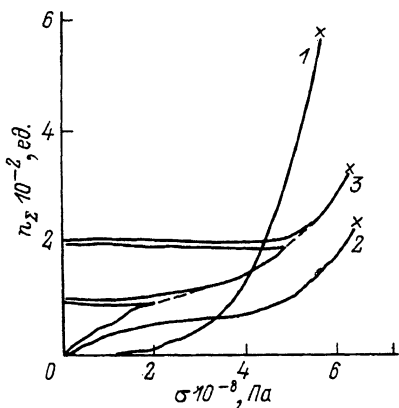


Рис. 1.

Результаты акустоэмиссионного анализа процесса разрушения хрупких композитов позволили выявить новые закономерности развития их поврежденности под нагрузкой. Экспериментальные исследования проводились при нормальных условиях на различных керамических материалах, в том числе порошковой металлокерамике, пористых стеклах, ситаллах, углепластике и др.

На рис. 1 приведены накопительные кривые суммарной эмиссии $n_{\Sigma}(\sigma)$, полученные при активном одноосном растяжении порошковой металлокерамики на основе железа (порошок ультрапак фирмы Манесман). В зависимости от исходной пористости образцов, обусловленной характеристиками прессования и отжига металлокерамики, регистрируются два типа кривых накопления повреждений под нагрузкой. Первый можно назвать монотонным, накопительные кривые состоят из трех участков: медленного, ускоренного и лавинного (кривая 1). Второй характеризуется высокой скоростью накопления дефектов на начальной стадии нагружения, переходящей в медленный, а за ним в ускоренный и лавинный участки. В этом случае накопительные кривые АЭ отличаются перегибом (кривая 2). Прерывание нагружения и разгрузка образца вызывает при повторном нагружении АЭ лишь при нагрузках, близких к той, которая предшествовала остановке (кривая 3). Этот феномен известен под названием эффекта Кайзера [2] и характерен для многих материалов. Использование его на практике позволяет проводить оценки степени загрузки материалов или элементов конструкций. При дальнейшем увеличении нагрузки на образец накопительные кривые АЭ асимптотически приближаются к зависимостям, соответствующим монотонному нагружению данного образца. Другими словами, после прерывания нагрузки при повторном нагружении происходит восстановление закона накопления повреждений данного образца. После каждого нового прерывания нагружения и разгрузки образца при каждом последующем нагружении вновь отмечается восстановление закона накопления повреждений до соответствующего монотонному нагружению (кривая 3).

Эффект консервативности закона накопления повреждений более наглядно демонстрируется при активном нагружении с прерыванием и выдержкой под постоянной нагрузкой. На рис. 2, а приведены накопительные кривые АЭ $n_{\Sigma}(\sigma)$, полученные при одноосном растяжении высокопористой керамики, спеченной из кварцевых волокон. При монотонном нагружении $n_{\Sigma}(\sigma)$ (кривая 2) удовлетворительно описывается степенной зависимостью $n_{\Sigma} = A\sigma^S$,

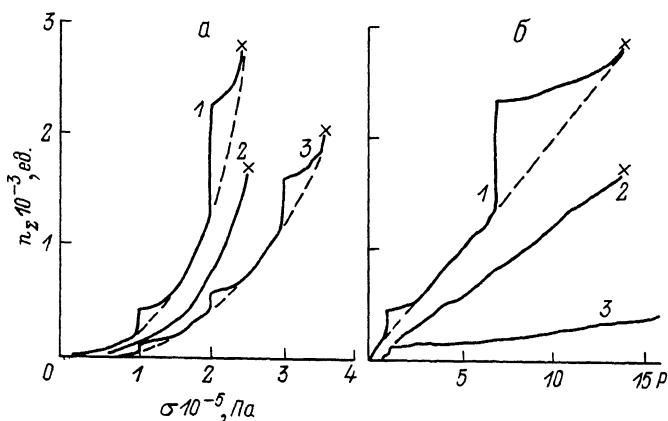


Рис. 2.

поэтому для проверки консервативности закона накопления повреждений после выдержки под постоянной нагрузкой и последующем растяжении образца можно использовать экстраполяцию начальных участков соответствующих накопительных кривых (кривые 1 и 3). Перестраивая полученные зависимости в координатах $n_z - \rho$, где $\rho = \epsilon^S$, убеждаемся (см. рис. 2, б), что после каждой остановки нагружения и выдержки под постоянной нагрузкой отмечается восстановление закона накопления повреждений: накопительные кривые $n_z(\rho)$ восстанавливаются до соответствующих каждому образцу линейных зависимостей в соответствующих полосах разброса экспериментальных результатов. Обнаруженные закономерности были проверены на различных хрупких композиционных материалах при разных способах нагружения и, по-видимому, присущи и другим материалам данного класса. Не останавливаясь на физической интерпретации описанных эффектов, отметим их бесспорную важность как для понимания физической природы разрушения реальных материалов, так и для задач НК и прогноза прочности. Проиллюстрируем сказанное на одном примере.

Одной из проблем, возникающих при акустоэмиссионном контроле поврежденности материалов и изделий, является невоспроизводимость „акустического контакта“. Вообще говоря, это понятие включает не только качество контакта датчика АЭ с исследуемым образцом, но и другие факторы, связанные с характеристиками акустоэмиссионной аппаратуры, настраиваемой на оптимальный прием. Это обстоятельство увеличивает разброс результатов, полученных при одинаковых условиях на внешне идентичных образцах, затрудняет сопоставление данных, соответствующих различным экспериментам с одним и тем же образцом. Используя эффект восстановления повреждений и располагая начальным участком накопительной кривой для некоторого образца, можно провести „сшивание“ результатов всех последующих наблюдений.

- [1] Тамуж В.П., Куксенко В.С. Микромеханика разрушения полимерных материалов. Рига: Зинатне, 1978. 294 с.
 [2] Kaiser J. // Arch. Eisenhüttenwesen. 1953. V. 24. P. 43-45.

Поступило в Редакцию
 24 ноября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 3

12 февраля 1990 г.

05; 07

© 1990

РЕГИСТРАЦИЯ УФ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ
 СВЕТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ С ПОМОЩЬЮ
 ДВУХФОТОННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ $CsJ(Na)$

Р.Г. Дейч, Ф. Ноак,
 В. Рудольф, В.Е. Постовалов

В настоящее время мощные субпикосекундные световые импульсы в ультрафиолетовом (УФ) спектральном диапазоне могут быть получены путем усиления удвоенных по частоте фемтосекундных импульсов в эксимерных модулях, в частности на газовой смеси $XeCl_2$ (308 нм) [1]. Применение таких импульсов в различных областях науки и техники требует детального знания их параметров, в особенности длительности. Обычная аппаратура измерения автокорреляционной функции методом генерации второй гармоники (ГВГ) неприменима из-за высокого однофотонного поглощения нелинейных кристаллов в области $\lambda < 200$ нм.

Мы предлагаем метод двухфотонной люминесценции (ДФЛ) активированных широкощелевых кристаллов ввиду его высокой чувствительности и простоты. Этот метод позволяет проводить одноимпульсные измерения аналогично методу двухфотонной флуоресценции органических красителей, применяемому в видимой и ближней инфракрасной области [2].

Для регистрации усиленных и удвоенных по частоте импульсов лазера на красителях с пассивной синхронизацией мод [3] (308 нм, 200 мкДж, ~ 30 фс) был выбран кристалл $CsJ(Na)$, широко применяющийся в качестве сцинтиллятора. Выбор этого кристалла обусловлен следующими обстоятельствами.

1. Ширина запрещенной зоны $CsJ E_g = 6.2$ эВ [4] и для $h\nu_g = 4.02$ эВ выполняется условие $h\nu_g < E_g < 2h\nu_g$.