



УДК 691.3;620.192;620.173

**А.Н. Круглова** – аспирант

**Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)**

## **МЕТОД АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ: ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ**

### **АННОТАЦИЯ**

Приводятся результаты исследования кинетики разрушения радиационно-защитных эпоксидных композиционных материалов. В процессе механического нагружения анализировались информативные параметры акустической эмиссии.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Акустическая эмиссия, кинетика разрушения.

**A.N. Kruglova** – post-graduate student

**Penza State University of Architecture and Construction (PSUAC)**

## **ACOUSTIC EMISSION METHOD: INVESTIGATION OF EPOXY COMPOSITES DESTRUCTION**

### **ABSTRACT**

The results of kinetics of radiation-protective epoxy composites destruction are presented. During the stress testing the informative parameters of acoustic emission signals are analyzed.

**KEYWORDS:** Acoustic emission, kinetics of destruction.

Эксплуатация радиационно-опасных объектов и безопасность их персонала невозможны без использования материалов, обладающих высокими радиационно-защитными свойствами. Весьма перспективными в отношении эксплуатационных и защитных показателей оказываются дисперсно-наполненные полимерные *композиционные материалы* с эпоксидной матрицей (ЭКМ). Высокая радиационная стойкость подобных материалов позволяет применять их в различных областях промышленности.

Комплекс основных свойств ЭКМ к настоящему времени исследован весьма подробно. В то же время при использовании многих методов исследований информация о деструктивных процессах может оказаться недоступной. Весьма информативным методом исследования является метод *акустической эмиссии* (АЭ), позволяющий определять интенсивность и многие другие параметры (момент возникновения, положение, скорость и направление развития дефектов) процесса дефектообразования [1]. Тип АЭ определяется характером дефектов (упругие деформации сопровождаются всплесковой АЭ; пластическая деформация сопровождается непрерывной АЭ; развитие магистральных трещин сопровождается импульсами высокой амплитуды). Отсутствие активных воздействий на исследуемый

объект, характерных для метода АЭ, является причиной значительного внимания к нему со стороны многих исследователей [2, 3].

В настоящей работе приведены результаты исследования прочностных свойств ЭКМ. В процессе механических испытаний регистрировались (с использованием разработанного аппаратно-программного комплекса) информативные параметры сигналов АЭ.

В качестве матричного материала ЭКМ использована диановая смола ЭД-20, отверждаемая полиэтиленполиамином. В качестве наполнителя и заполнителя использовался промышленный отход с высоким содержанием сульфата свинца. Для улучшения защитных и прочностных свойств выполнялось армирование короткими металлическими волокнами. Суммарная объемная доля дисперсных фаз составляла около 50 %. Были изготовлены образцы размером 20x20x20 мм. Отверждение матричного материала проходило в течение 24 часов при комнатной температуре. Готовые образцы были подвергнуты тепловой обработке в течение 5 часов при температуре 80 °С. Испытания образцов на осевое сжатие производились на разрывной машине ИР5057-50 (при испытаниях осуществлялась коррекция систематической погрешности (достигающей 500 %), обусловленной деформацией подвижных частей).

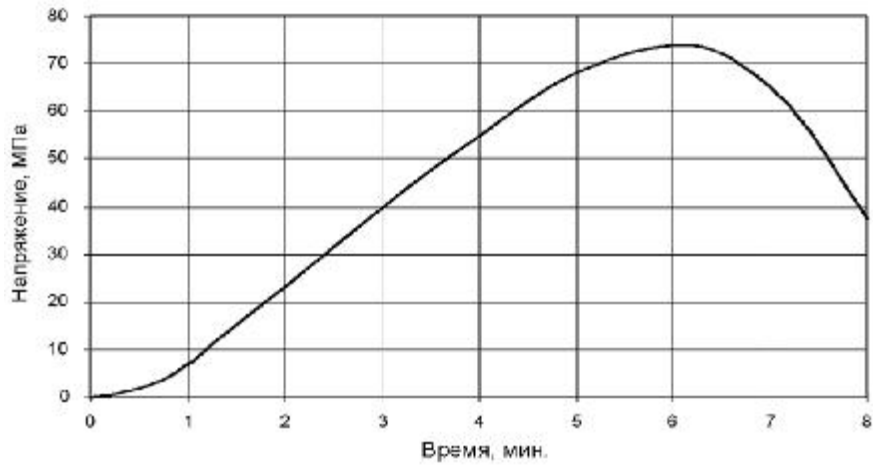


Рис. 1. Механическое напряжение в исследуемом образце

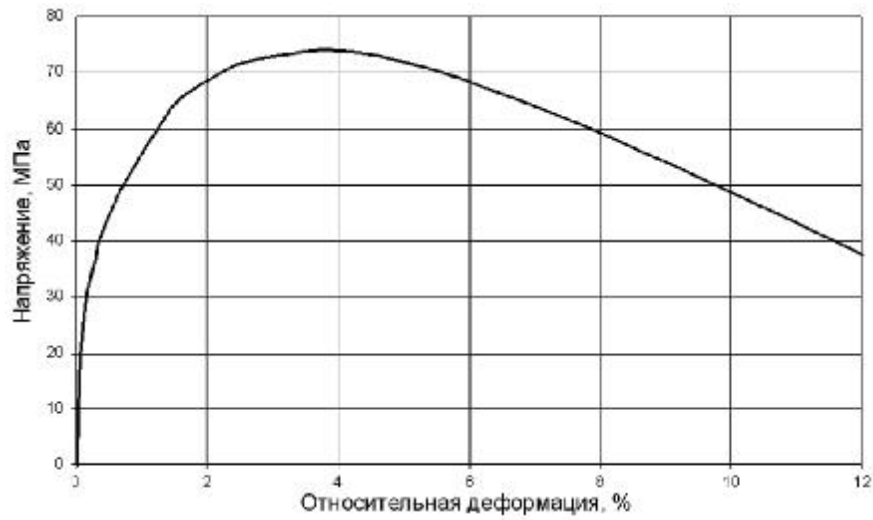


Рис. 2. Диаграмма сжатия

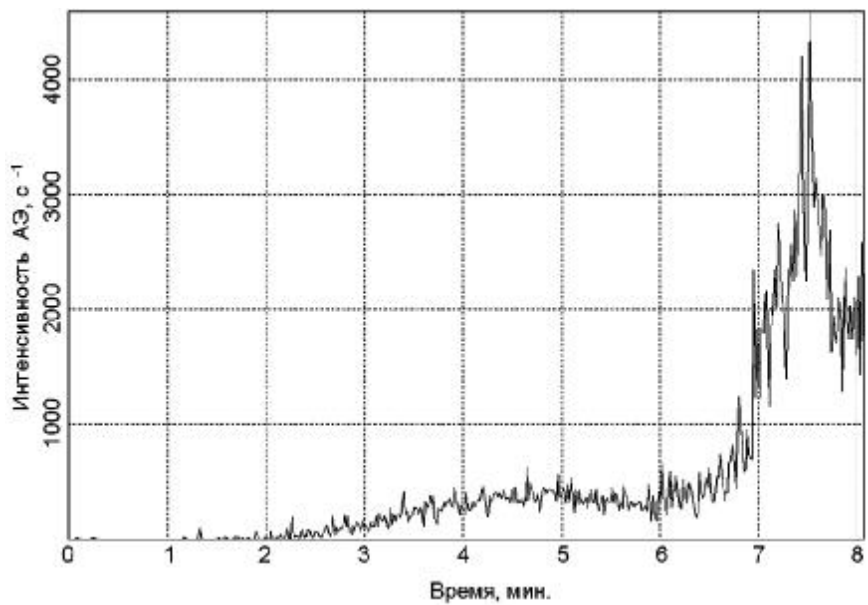


Рис. 3. Интенсивность АЭ

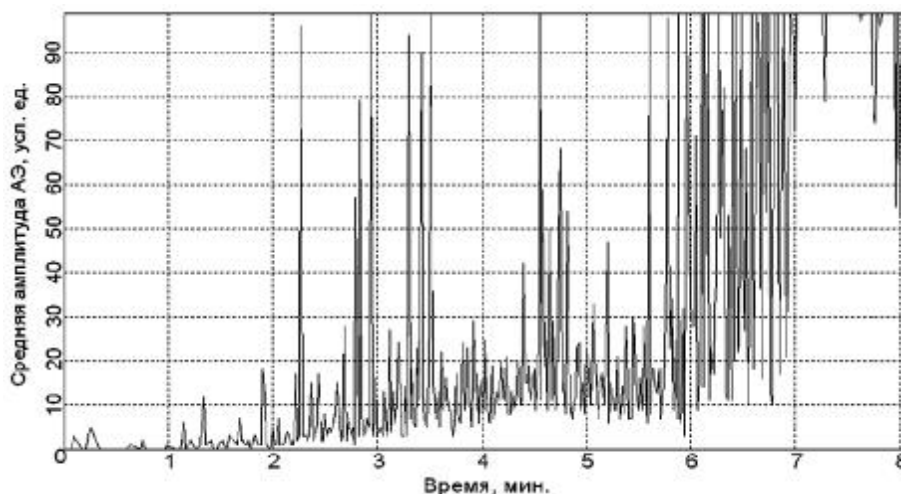


Рис. 4. Амплитуда АЭ

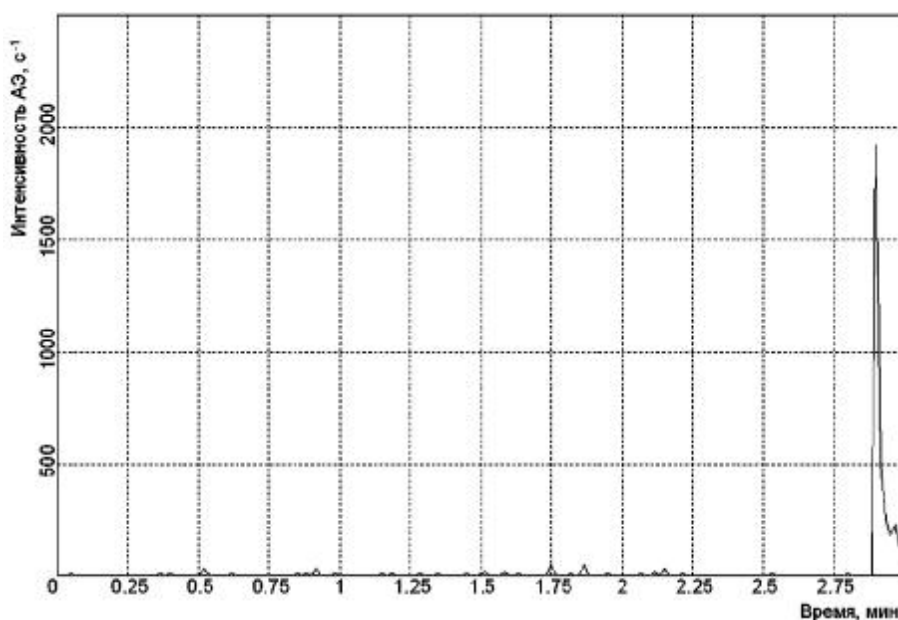


Рис. 5. Интенсивность АЭ, регистрируемой при нагружении образца матричного материала

Регистрация информативных параметров сигналов АЭ выполнялась прибором АФ-15, дополненным устройством сопряжения с персональным компьютером (ПК). В качестве приемного преобразователя использовался пьезоэлемент на основе керамики ЦТС-19, волновод которого был приведен в акустический контакт с образцом. Для сопряжения АФ-15 с ПК в ПГУАС разработано устройство (микроконтроллер, передающий данные по стыку RS-232). Информация накапливалась в постоянной памяти персонального компьютера и становилась доступной по завершению эксперимента (регистрация и обработка разделены во времени). Измерялась *интенсивность* (число превышений сигналом заданного уровня в единицу времени) и *амплитуда* АЭ (усреднена за это же время).

В силу конструктивных особенностей машины ИР5057-50 нагружение было нелинейным. Зависимость механического напряжения от времени соответствует рис. 1. Диаграмма сжатия приведена на рис. 2.

Зависимости параметров АЭ от времени (соответствуют шкале рис. 1) приведены на рис. 3 и 4.

Информативные параметры АЭ регистрировались также для матричного материала (в отсутствие дисперсных фаз). Разрушающее напряжение (113 МПа) было достигнуто в момент времени 2,87 мин. Соответствующая зависимость интенсивности АЭ приведена на рис. 5.

Как следует из рис. 1, на участке  $S \in [0; 20]$  МПа механическое напряжение практически линейно зависит от относительной деформации; предел пропорциональности  $S_n = 20$  МПа (соответствует



относительной деформации  $e_n = 6 \cdot 10^{-4}$ ) достигается в момент времени  $t = 1,8$  мин.

Снижение скорости роста напряжений  $\frac{dS}{dt}$  при

$S > S_n$  по всей видимости обусловлено разрывами связей между структурными элементами (напряжения  $S > 20$  МПа) и взаимными перемещениями структурных элементов, в то время как на участке  $S \in [0; 20]$  МПа рост напряжений обусловлен почти исключительно упругими деформациями. Это подтверждается характером эмиссионного излучения, а также сравнительным анализом характера АЭ для ЭКМ и ненаполненного матричного материала (рис. 3). На участке  $S < S_n$  упругие деформации сопровождаются крайне слабой всплесковой эмиссией, вызванной разрушением отдельных структурных элементов. Регистрация импульсов высокой интенсивности начинается только при напряжениях  $S \geq S_n$ . Предел пропорциональности ненаполненного матричного материала практически совпадает с пределом упругости: для зависимости на рис. 3 характерно отсутствие АЭ до момента разрушения.

При напряжениях  $S \in [55; 75]$  МПа уровень сигналов АЭ остается приблизительно постоянным. По всей видимости, это связано с развитием деформаций за счет взаимных перемещений структурных элементов (сопровождаются непрерывным эмиссионным излучением средней интенсивности, рис. 3). Превышения локальными перенапряжениями определенного уровня (напряжения свыше 55 МПа) приводят к разрыву адгезионных связей на границе армирующего и армируемого материалов, что сопровождается АЭ

высокой интенсивности.

Предел прочности при сжатии  $S_{вр} = 75$  МПа достигается в момент времени  $t = 6$  мин. Значению  $S_{вр}$  соответствует относительная деформация  $e_{вр} = 3 \cdot 10^{-2}$ , существенно превышающая  $e_n$ .

За время  $t \in [6; 8]$  мин относительная деформация возрастает до  $3e_{вр}$ , достигая к моменту окончания эксперимента величины  $e = 0,12$ . В этот период развиваются многочисленные трещины, длина которых сравнима с размерами образца. Однако полного разрушения образца не происходит – его отдельные части удерживаются армирующими волокнами (ниспадающий участок рис. 2). Прохождение макротрещин сопровождается импульсами с высокой амплитудой, которые резко выделяются на фоне непрерывной АЭ (рис. 3, 4).

Таким образом, регистрация информативных параметров АЭ позволяет получить дополнительную информацию о процессе дефектообразования, сделать на данной основе выводы о характере разрушения материала и выбрать способы повышения прочностных характеристик ЭКМ.

### Литература

1. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия: применение для испытаний материалов и изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 272 с.
2. Hellier C. Handbook of Nondestructive Evaluation. – NY: McGraw-Hill, 2001. – 603 p.
3. Miller R., Hill E., Moore P. Nondestructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 6, Acoustic Emission Testing. – OH:ASNT, 2005. – 446 p.