

3. Резание металлов / Г.И. Грановский, П.П. Грудов, В.А. Кривоухов и др.; Под ред. В.А. Кривоухова. — М.: Машгиз, 1954. — 472 с.
4. Режимы резания металлов инструментами из быстрорежущей стали (для одноинструментальной обработки). — М.: Машгиз, 1950. — 340 с.
5. Грановский Г. И. Обработка результатов экспериментальных исследований резания металлов. — М.: Машиностроение, 1982. — 112 с.
6. Зорев Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов. — М.: Машгиз, 1956. — 368 с.
7. Зорев Н. Н. Расчет проекций силы резания. — М.: Машгиз, 1958. — 56 с.
8. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учебное пособие. — М.: Высшая школа, 1982. — 224 с.

620.19

## АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ОБРАЗЦОВ ИЗ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Асп. К. Е. НАГИНАЕВ, д-р физ.-мат. наук, проф. В. Н. САВЕЛЬЕВ

*Приведены результаты исследования статического нагружения плоских образцов, изготовленных из стали 09Г2С-12, в режиме постоянной скорости нагружения на различных этапах: деформации вплоть до разрушения образцов с записью сигналов акустической эмиссии. Метод акустической эмиссии надежно выявляет момент образования и контролирует стадию развития очага разрушения (макротрещину) независимо от наличия или отсутствия концентратора напряжений в образце.*

*Research data from static loading tests of flat samples made of steel 09G2C-12 in conditions of fixed loading speed and at different stages of deformation up to destruction with measurement of the acoustic emission and the recording of signals are presented in this article. Application of acoustic emission technology can easily determine the moment of formation and inspect any stage of development of the center of destruction (macro flaw) irrespective of the presence or absence of voltage generator in the sample.*

Наиболее часто разрушение производственных объектов связано с развитием дефектов, образовавшихся при изготовлении, транспортировании или монтаже оборудования, поэтому выявление и исследование развивающихся при эксплуатационных нагрузках дефектов типа трещин, оценка степени их опасности является достаточно актуальной не только с научной, но и с технической точки зрения. Наиболее достоверную информацию о развитии трещин как в образцах, так и в технологическом оборудовании дает метод акустической эмиссии (АЭ). Наличие и оценка влияния реальных дефектов в металле промышленных объектов моделировалась нами искусственно созданными концентраторами в образцах. Исследования проводились на плоских образцах по ГОСТ 1497-84 [1] (далее — образцы) и ГОСТ 25.506-85 [2] (далее — образцы с концентратором), изготовленных из стали 09Г2С-12, в режиме статического нагружения. Из данного материала (или его импортных аналогов) изготовлена подавляющая часть корпусов емкостного оборудования различных типов отечественного и импортного производства, установленного на предприятиях ОАО «Газпром», при техническом диагностировании которых выявляются многочисленные дефекты изготовления и монтажа.

Образцы имели форму двойной лопатки с габаритными размерами 0,295×0,04×0,01 м, длина и ширина рабочей части соответственно 0,135 и 0,03 м. Образцы с концентратором — прямоугольные пластины 0,5×0,1×0,01 м с отверстием диаметром 0,03 м посередине, от которого поперек рабочей части образца отходят две риски, представляющие собой концентраторы напряжений (расстояние между вершинами рисок 0,04 м).

Одноосное растягивающее нагружение проводилось на универсальной машине для испытания на прочность материалов типа EUS-40 с постоянной скоростью, при этом одновременно регистрировались сигналы АЭ, для чего использовалась восьмиканальная акустико-эмиссионная система диагностирования в комплекте с персональным компьютером. Измерялись амплитуда, длительность, время нарастания огибающей, число выбросов, время прихода с начала испытания сигнала АЭ, разность времени прихода на каналы для расчета координатных распределений сигналов, а также давление, которое фиксировались датчиком нагрузки. Рост опасности дефектов (трещин) оценивался по сигналам АЭ.

На диаграмме нагружения можно отметить последовательно область упругой деформации, начало пластической деформации с дальнейшим развитием пластической деформации, заканчивающееся образованием шейки и разрывом образца (рис. 1). Там же представлена зависимость изменения амплитуды сигналов АЭ от величины деформации. Сигналы регистрируются уже на стадии упругой деформации, что свидетельствует о наличии и развитии дефектов в структуре образца при относительно небольших напряжениях, появление зоны пластической деформации на диаграмме обусловлено началом интенсивного движения дислокаций и образованием микротрещин. Характерный всплеск АЭ наблюдается на стадии пластической деформации, которая заканчивается макроразрывом образца. Можно видеть, что незадолго до макроразрушения появляются сигналы АЭ с большой амплитудой (более 70 дБ), что соответствует формированию укрупненных трещин, предшествующих макроразрушению образца.

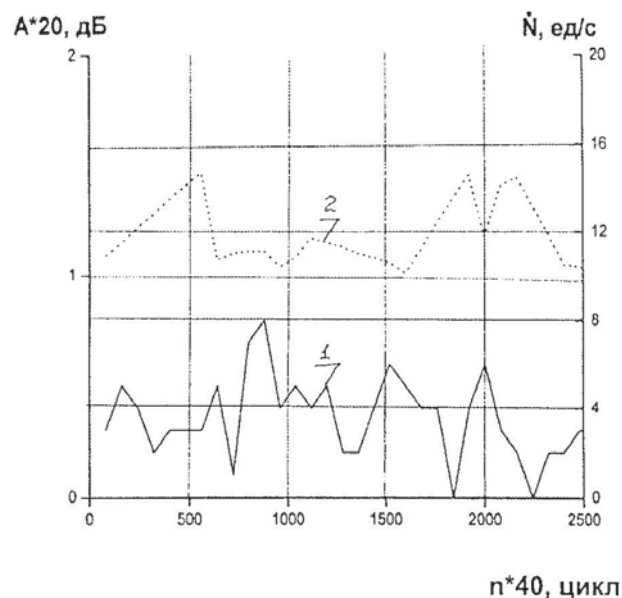


Рис. 1. Результаты испытаний образцов без концентратора напряжений: 1 — диаграмма растяжения образца; 2 — зависимость накопления числа сигналов АЭ от деформации; 3 — изменения амплитуды сигналов АЭ от деформации

Результаты спектрального анализа сигналов АЭ, зарегистрированных хронологически последовательно в процессе испытаний одного образца (соответствует увеличению степени деформации), показали, что доминантные и медианные частоты АЭ сигналов в процессе деформирования образца с увеличением степени деформации смещаются в область более низких частот и находятся в основном в пределах 200—400 кГц.

Результаты испытаний образцов с концентраторами и полученные зависимости накопления сигналов АЭ во многом повторяют результаты испытаний образцов первого

типа. Анализ данных сигналов показывает, что из области концентраторов регистрируется наибольшее число сигналов АЭ с максимальной амплитудой. По характеру накопления сигналов АЭ надежно выделяются момент появления и развитие очага макроразрушения на ранней стадии деформирования образца, что можно видеть на рис. 2 по характеру изменения среднеквадратичного отклонения амплитудного распределения сигналов. Локализация сигналов АЭ в зоне искусственного концентратора на образце приведена на рис. 3. При дальнейшем увеличении нагрузки происходит рост параметров АЭ и, начиная с некоторого момента, трещина становится видимой в зоне концентратора (рис. 4).

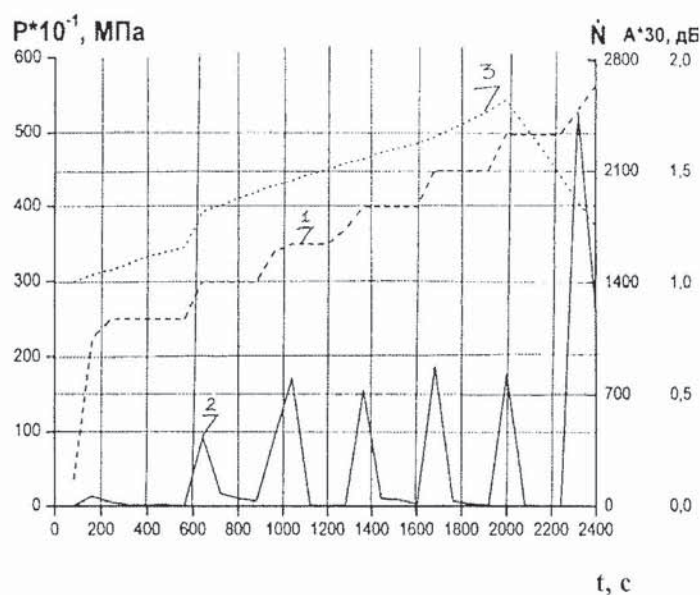


Рис. 2. Среднеквадратичное отклонение амплитудного распределения сигналов АЭ на образце с концентратором

Таким образом, при исследовании АЭ в процессе деформирования образцов из стали 09Г2С-12 показано, что с помощью АЭ-метода можно контролировать возникновение в материале двух важных для безопасной эксплуатации технологического оборудования процессов: начало пластической деформации материала, т.е. появление необратимой деформации (формирование микротрещин), а также образование и развитие очага макроразрушения. Оба процесса могут развиваться локально при эксплуатационных нагрузках и привести к нарушению работоспособности объекта.

### Выводы:

1. Выявлены характерные зависимости изменения параметров акустической эмиссии от нагрузки при статическом нагружении образцов из стали 09Г2С-12 1 двух типов (в виде двойной лопатки и с концентратором).

2. Методом АЭ можно выявлять и контролировать развитие двух важных для эксплуатации оборудования процессов: начало пластической деформации, т.е. появление необратимой деформации (формирование микротрещин), а также формирование и развитие очага разрушения.

3. Методом АЭ можно оценивать степень опасности выявленных реальных дефектов (концентраторов напряжений) в изделиях, изготовленных из стали 09Г2С-12, и давать заключение о работоспособности данных изделий при эксплуатационных нагрузках.

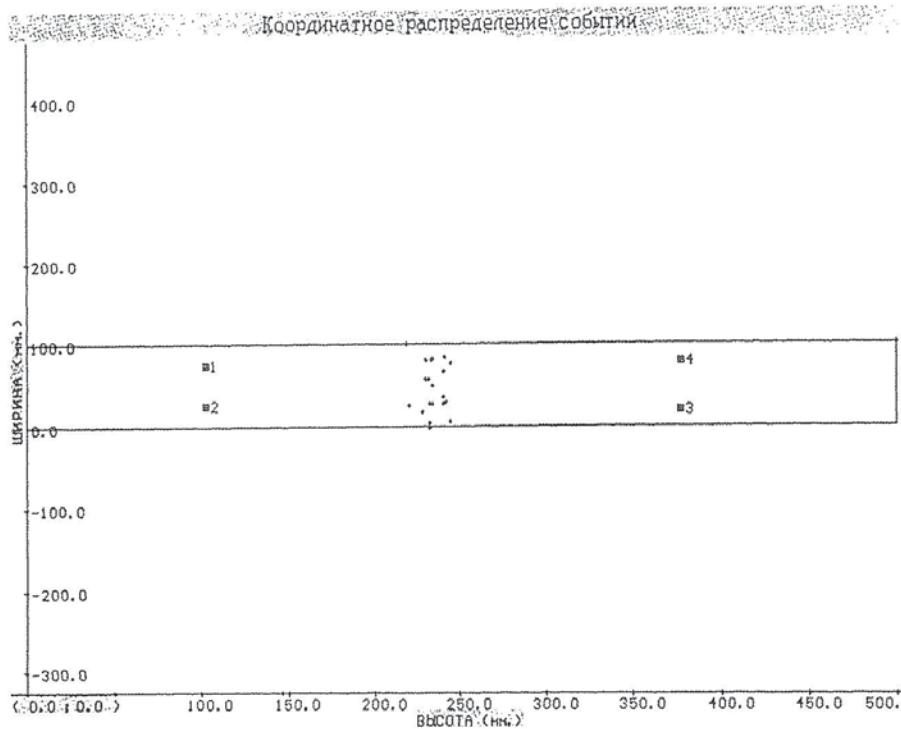


Рис. 3. Локация сигналов АЭ на образце с концентратором (концентратор имеет координату 250 мм)

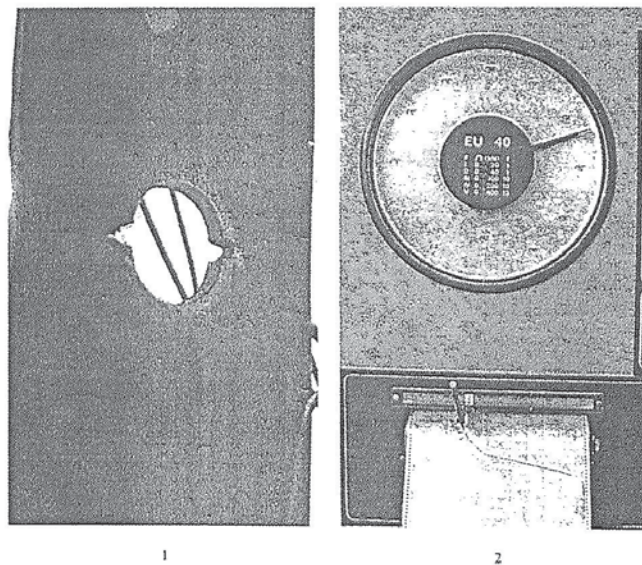


Рис. 4. Испытание образцов с концентратором (этап пластической деформации): 1 — видимая трещина на образце с концентратором; 2 — нагрузка на этапе пластической деформации (видно по характеру диаграммы «напряжение—деформация»), соответствующая моменту появления видимой трещины

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение». — М.: Изд-во Стандартов, 1984. — 37 с.
2. ГОСТ 25.506-85 «Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении». — М.: Изд-во Стандартов, 1985. — 73 с.