

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ СТАЛИ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

В.С. Куксенко, В.Н. Савельев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН
e-mail: victor.kuksenko@pop.ioffe.ru

Исследовали закономерности наиболее часто встречающихся причин макроразрушения конструкций – усталостное разрушение стали и коррозионное растрескивание под напряжением.

Методами амплитудного анализа сигналов акустической эмиссии и фрактографии была установлена взаимосвязь между скоростью роста усталостной трещины, параметрами акустической эмиссии и структурой стали.

Испытания участка трубопровода со сварным швом на коррозионное растрескивание показали, что по увеличению скорости накопления трещин, увеличению амплитуд акустической эмиссии и увеличению среднеквадратичного отклонения амплитудного распределения можно указать время формирования очага разрушения трубы, т.е. прогнозировать макроразрушение.

Приведем результаты изучения роста усталостной трещины в образце из литевой стали.

Испытывали образцы 6Т-СТ (толщина 0,15 м) на внецентренное растяжение. Кинетику роста трещины исследовали на среднем участке диаграммы циклического разрушения, где существует линейная связь между логарифмами коэффициента интенсивности разрушения и скорости роста усталостной трещины. Акустическая эмиссия (АЭ) регистрировалась в режиме временного стробирования во время каждого цикла лишь при возрастании нагрузки. Путем лоцирования сигналов АЭ система позволяла выделять зону контроля около плоскости распространения усталостной трещины толщиной 0,02 м.

На рис. 1 представлены зависимости скорости роста усталостной трещины $V_{УТ}$ (кривая 1), средней амплитуды сигналов \bar{A} (кривая 2) и среднеквадратичного отклонения амплитуды S_A (кривая 3) от числа циклов N .

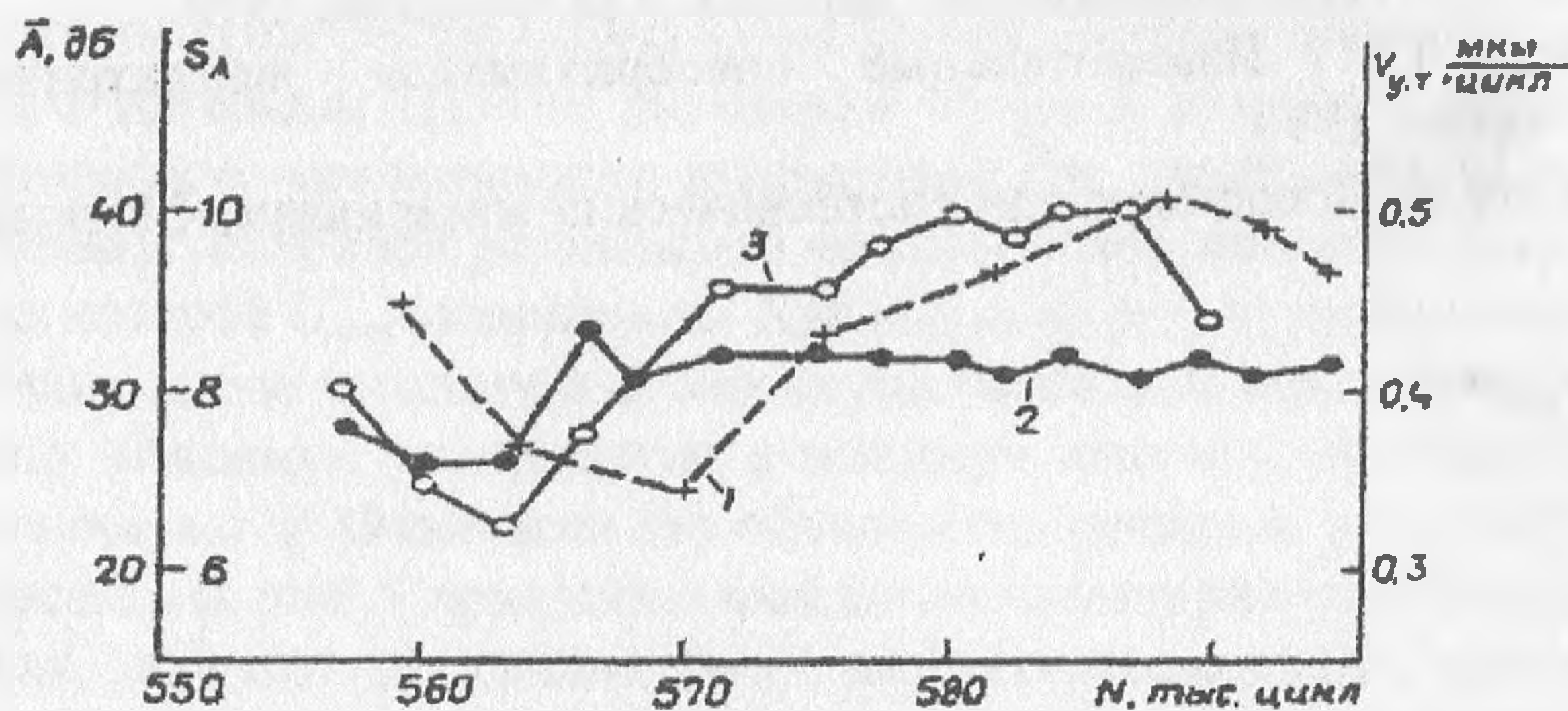


Рис. 1 Зависимость скорости роста усталостной трещины $V_{УТ}$ (1), средней амплитуды сигналов акустической эмиссии \bar{A} (2) и среднеквадратичного отклонения амплитуды S_A (3) от числа циклов N .

Видно, что по величине S_A можно прогнозировать скорость роста усталостной трещины, какой она будет примерно через 5000 циклов.

Результаты этого эксперимента показали, что скорость роста усталостной трещины определяется степенью поврежденности материала перед вершиной трещины на расстоянии радиуса пластической зоны. Процесс предварительного "разрыхления" материала перед вершиной усталостной трещины, а, следовательно, и скорость роста трещины можно контролировать методом акустической эмиссии.

Испытание на коррозионное растрескивание проводилось на фрагменте трубопровода из стали 08Х18Н10Т, содержащего кольцевой сварной шов.

Результаты исследований коррозионного растрескивания трубы методом акустической эмиссии представлены на рис.2. Цель исследований состояла в АЭ контроле процесса разрушения путем регистрации накопления трещин, образующихся в сварных швах под действием коррозии под напряжением при расчетном времени испытаний в течение 1000 часов.

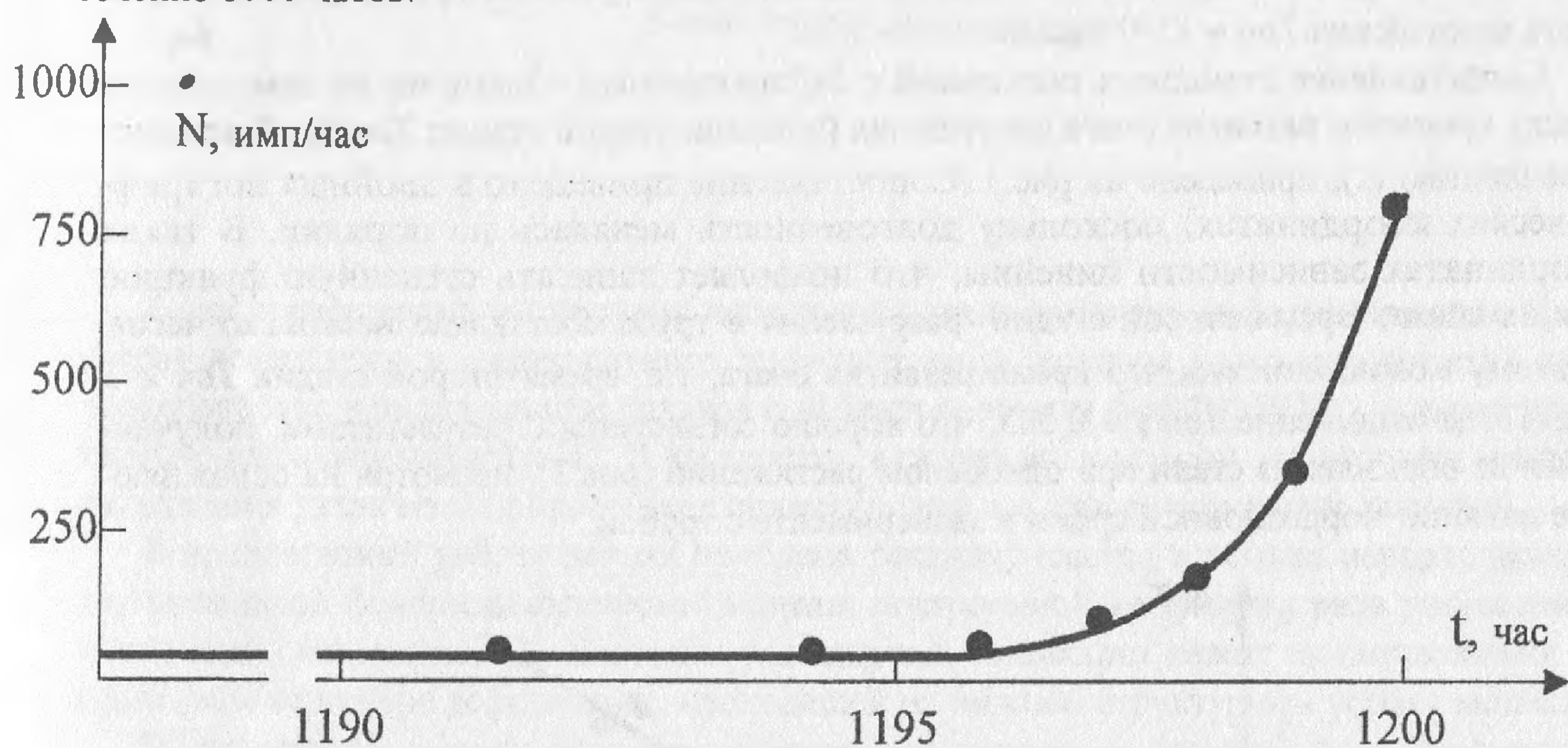


Рис.2 Накопление сигналов АЭ во времени при испытании трубы.

Труба была заполнена раствором NaCl (10 мг/кг), нагретом до 270 градусов Цельсия, нагружена внутренним давлением 88 кгс/см² и, кроме того, нагружена растягивающим осевым усилием 310 тс на испытательной машине ZZ8000.

Системой АЭ контроля регистрировались амплитудные и координатные распределения сигналов акустической эмиссии. Кроме того, регистрировалось число сигналов за время наблюдения, по которым вычислялась активность акустической эмиссии.

Координатное распределение источников сигналов акустической эмиссии показывает, что процесс коррозионного растрескивания локализован в зоне сварного шва. Такой характер сохранялся на протяжении всего испытания.

В период времени испытаний вплоть до 1196 часов активность АЭ сохранялась на постоянном уровне 19 - 21 сигналов в час (рис.2). После выдержки более 1196 часов активность начала увеличиваться и при времени испытаний равном 1200 часам составила величину 820 имп/час, что свидетельствует о резком возрастании скорости процесса коррозионного растрескивания.

Анализ амплитудных спектров (табл.) показывает, что до 1196 часов включительно характер амплитудного распределения оставался практически постоянным. Стандартное отклонение амплитудного распределения не превышало 12дБ. На заключи-

тельной стадии в амплитудном распределении появился пик высокоамплитудных сигналов до 80 дБ, соответствующих появлению трещин больших размеров. Стандартное отклонение амплитудного распределения при этом выросло до 15,3 дБ.

Т а б л и ц а. Изменение среднеквадратичного отклонения амплитудного распределения сигналов акустической эмиссии при испытаниях трубы.

T (час)	600-1196	1197	1200
S_A (дБ)	12	12,2	15,3

Все это свидетельствует о качественном изменении в характере разрушения трубы до 1196 часов и после от редкого накопления трещин малых размеров к формированию очага разрушения и катастрофической активизации процесса.

По увеличению скорости накопления трещин, увеличению амплитуд сигналов АЭ и увеличению среднеквадратичного отклонения S_A можно указать время формирования очага разрушения $T_{оч} \approx 1197$ часов.

Сопоставление стендовых испытаний с лабораторными образцами по зависимости между временем развития очага разрушения (времени второй стадии $T_{оч}$) и общей долговечностью (τ), приведено на рис.3. Сопоставление приведено в двойных логарифмических координатах, поскольку долговечность менялась на порядки. В таких координатах зависимости линейны, что позволяет записать степенную функцию для их связи. Время второй стадии разрушения в трубе составляло несколько часов. Поэтому можно считать, что время развития очага, т.е. время второй стадии $T_{оч} \geq 3$ час. Тогда отношение $T_{оч}/\tau \approx 0,003$, что хорошо согласуется с результатами, полученными на образцах из стали при одноосном растяжении (рис.3), несмотря на осложняющее влияние коррозионной среды в эксперименте с трубой.

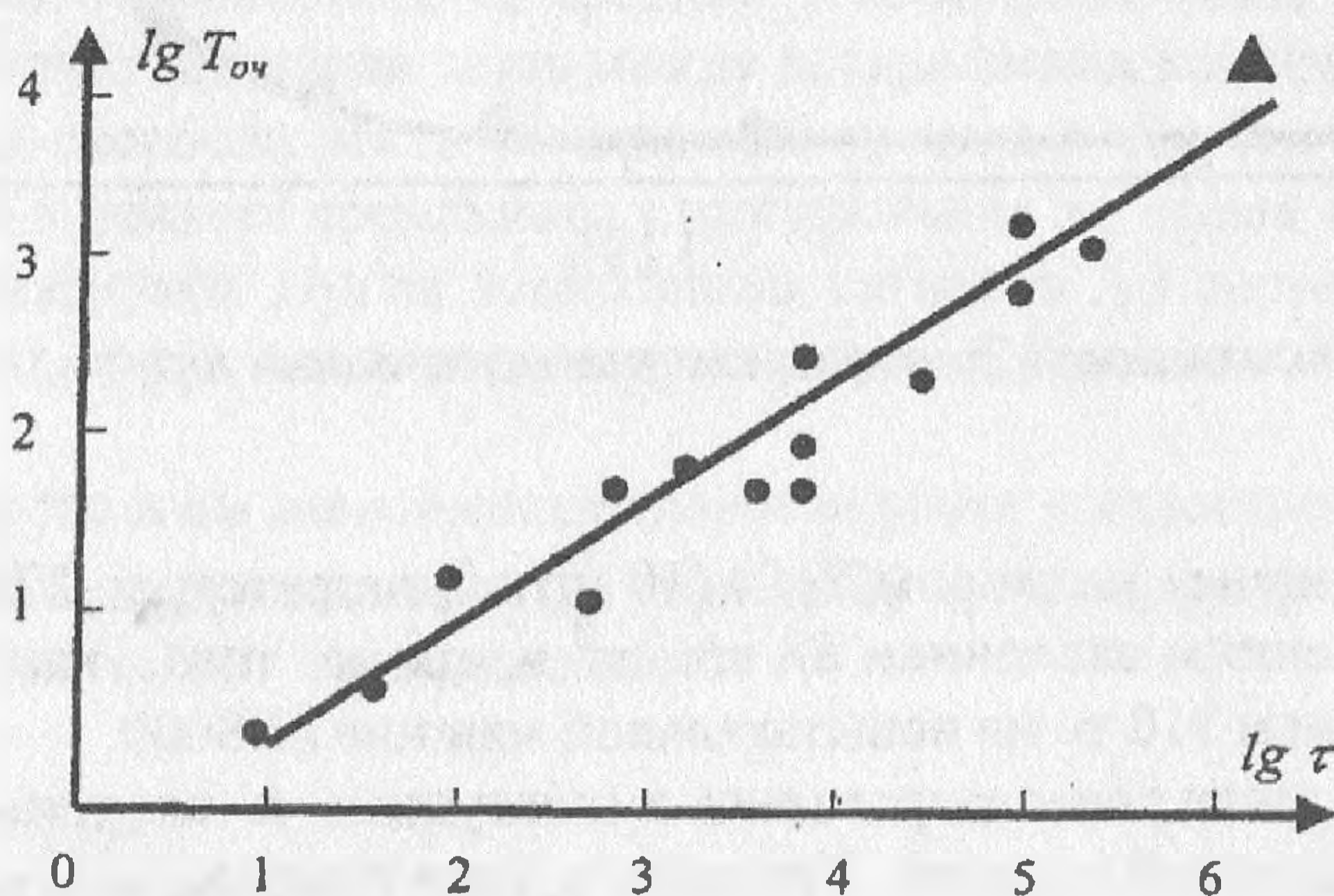


Рис.3 Зависимость заключительной стадии разрушения $T_{оч}$ от долговечности τ нагруженной стали: \bullet - образец; \blacktriangledown - труба.

Можно сделать заключение, что при наличии такого инструмента как метод акустической эмиссии для определения начала второй стадии, можно оценить время до катастрофического разрушения конструкции и вовремя принять необходимые меры для его предотвращения.