



КИНЕТИКА РОСТА КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН В ТРУБНОЙ СТАЛИ 17Г1С

Академик НАН Украины **В. И. МАХНЕНКО**, **Л. И. МАРКАШОВА**, д-р техн. наук,
Е. Н. БЕРДНИКОВА, **В. М. ШЕКЕРА**, кандидаты техн. наук, **Е. М. ОНОПРИЕНКО**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

На основе диаграммы статической коррозионной трещиностойкости описана взаимосвязь между скоростью роста коррозионных трещин и коэффициентом интенсивности напряжений. С помощью аналитической растровой электронной микроскопии подтверждена основная рабочая гипотеза относительно дискретности роста трещин.

Ключевые слова: трубные стали, коррозионные трещины, диаграмма статической коррозионной трещиностойкости, акустическая эмиссия, электронная микроскопия, зона водородного охрупчивания

Коррозионные трещины в подземных магистральных газо- и нефтепроводах являются наиболее опасными дефектами, обнаружить которые с помощью современных средств внутритрубной диагностики достаточно трудно. В этой связи изучение упомянутых дефектов с позиции их инициирования и развития представляет несомненно большой интерес, особенно у специалистов, занимающихся ремонтом трубопроводов без вывода их из эксплуатации, т. е. под давлением, когда ранжирование проявленных дефектов по степени срочности их удаления является ответственной составляющей графика ремонта.

В общем случае развитие коррозионных трещин в трубных сталях при относительно статических нагрузках описывается диаграммой статической коррозионной трещиностойкости (ДСКТ) данного материала при соответствующих коррозионно-температурных условиях [1]. На рис. 1 показана схема такой диаграммы, связывающей скорость роста v коррозионной трещины нормального отрыва с коэффициентом интенсив-

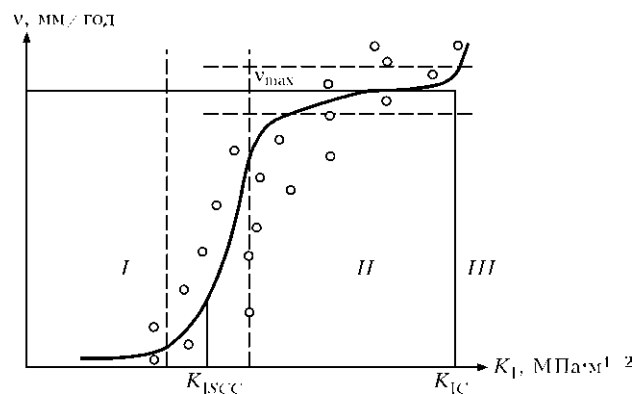


Рис. 1. Диаграмма статической коррозионной трещиностойкости (I–III, а также остальные обозначения см. в тексте)

ности напряжений K_I , определяемым напряженным состоянием, размерами трещины и геометрией образца. В общем случае на ДСКТ различают

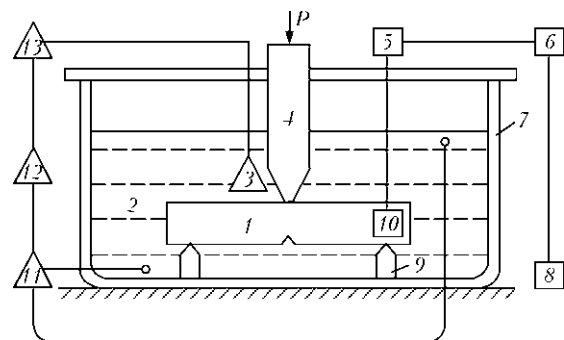


Рис. 2. Схема испытаний образцов на опытной установке, созданной в ИЭС им. Е. О. Патона: 1 — образец; 2 — коррозионная среда; 3 — датчик температуры среды; 4 — индикатор; 5 — усилитель; 6 — источник акустической эмиссии; 7 — ванна; 8 — регистратор; 9 — опора; 10 — пьезоэлектрический датчик; 11 — помпа циркуляции среды; 12 — нагреватель среды; 13 — регулятор температуры

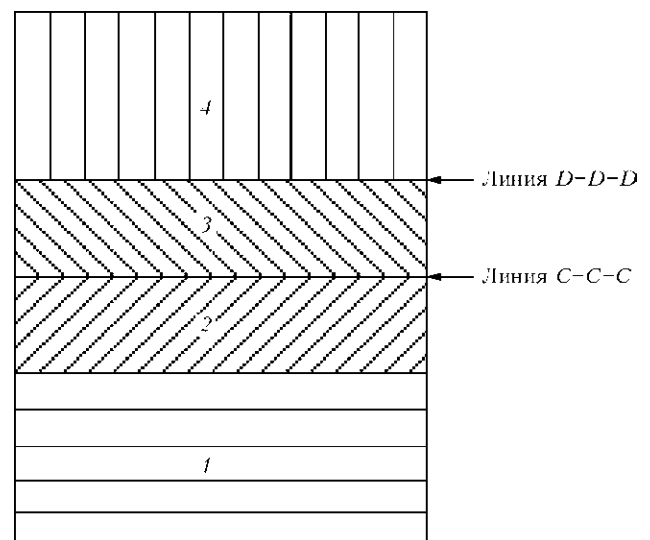


Рис. 3. Схема расположения характерных областей на поверхности излома образца (1–4 — см. в тексте)

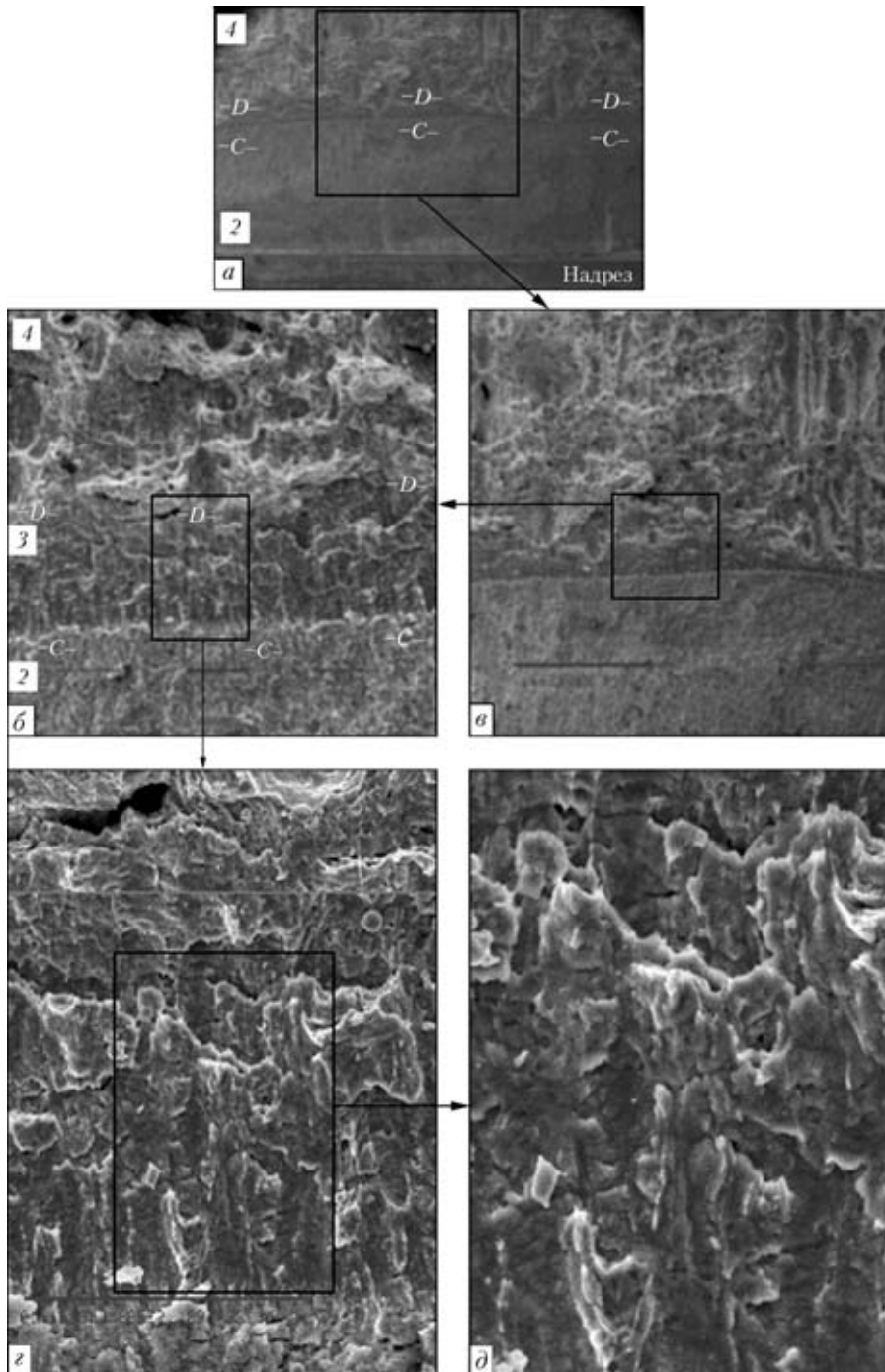


Рис. 4. Фрагменты фрактографического исследования области роста коррозионной трещины 3 на участке вблизи области роста усталостной трещины 2: а, X28; б, X221; в, X55; г, X885; д, X1770

три характерные зоны (рис. 1): *I* — $0 < K_I < K_{I\text{SCC}}$, где скорость роста трещины относительно невелика и основным механизмом является анодное растворение материала образца в вершине трещины; *II* — $K_{I\text{SCC}} < K_I < K_{I\text{C}}$ ($K_{I\text{C}}$ — критическое значение K_I при данных температурных условиях), где скорость роста трещины весьма значительная и преобладает механизм водородного охрупчивания материала в вершине трещины; *III* — $K_I > K_{I\text{C}}$, где спонтанный рост трещины соответствует хрупкому разрешению. С позиций ранжирования обнаруженной коррозионной трещины

либо начала ее образования большое значение имеет зона *II*, определяющая ресурс безопасного ожидания в очереди на ремонт.

В ИЭС им. Е. О. Патона для получения данных о поведении трубных сталей в водных растворах различных грунтов используется описанная в работах [2, 3] методика, позволяющая достаточно оперативно получать информацию о параметрах ДСКТ в зоне *II*, где рост трещины происходит отдельными прыжками, наличие которых контролируется с помощью датчика акустической эмиссии.

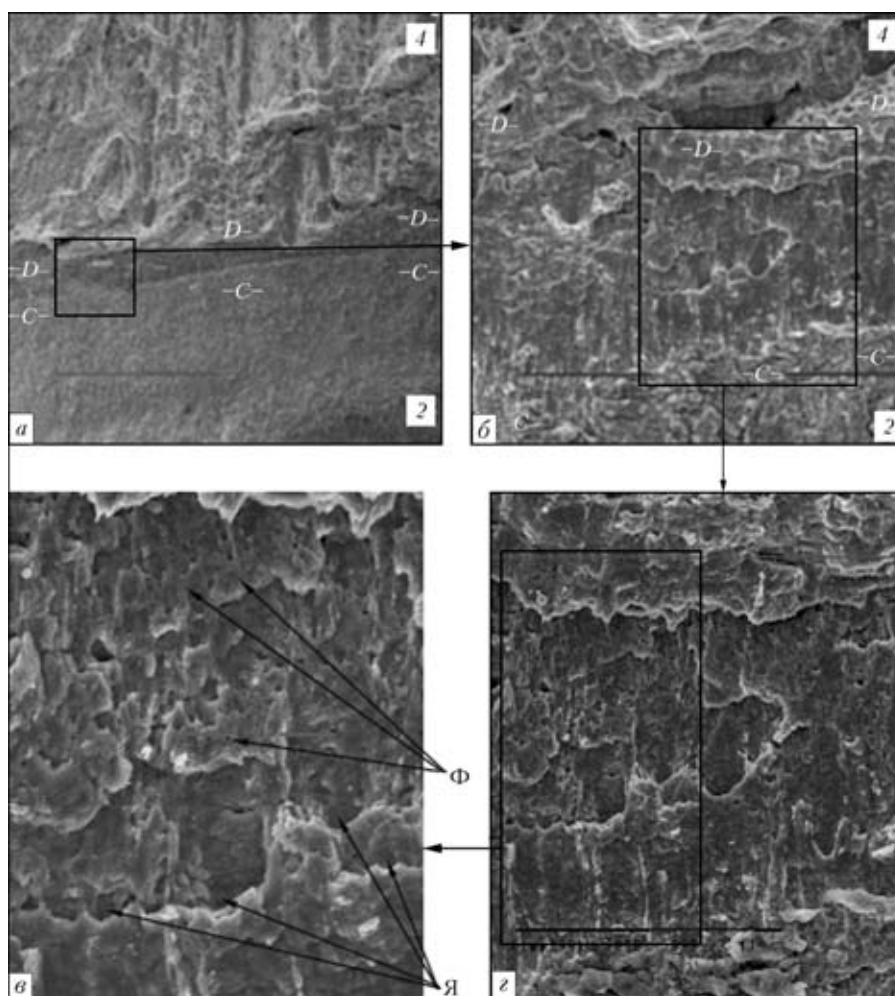


Рис. 5. Фрагменты фрактографического исследования области роста коррозионной трещины вблизи области долома 4: а, $\times 555$; б, $\times 442$; в, $\times 1770$; з, $\times 885$; Ф — фасетки квазихрупкого разрушения; Я — плоские ямки в зоне вытяжки

Целью настоящей работы являлось средствами аналитической растровой электронной микроскопии подтвердить рабочую гипотезу о росте трещины отдельными прыжками, часть из которых регистрируется как сигнал акустической эмиссии на экране и в памяти компьютера. При этом в силу избирательности процесса наводораживания объемов металла вдоль фронта трещины за счет локальной диссоциации водного раствора в этой зоне прыжки роста трещины вдоль ее фронта имеют локальный характер: перемещаются достаточно хаотично — пятнами вдоль фронта, из которых образуются слои, определяющие среднюю скорость продвижения фронта трещины.

Ниже приведены результаты исследования поверхности излома образцов сечением 10×10 мм с надрезом Шарпи и предварительно выращенной трещиной. Испытание проводили по схеме трехточечного изгиба (рис. 2) в среде водной вытяжки песка, взятого в различных районах. Время испытания для образца № 1 составляло 740 ч, для образца № 2 — 336 ч. Образцы были изготовлены из трубной стали 17Г1С. Для получения $K_I = 25$ МПа·м^{1/2} была выбрана соответствующая нагрузка.

Изломы исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа марки СЭМ-515 фирмы «Philips», оснащенного энергодисперсионными спектрометрами системы «Link». Растровые изображения структуры поверхности излома дают возможность получить микроизображение с большой глубиной поля зрения и видеть более четко детали структуры. Перед проведением исследования поверхностей излома их подвергали тщательной очистке от коррозионных отложений с помощью ультразвука. На поверхности излома каждого из исследуемых образцов имели место четыре характерные области (рис. 3): 1 — область надреза; 2 — область предварительно выращенной усталостной трещины; 3 — область изгибных деформаций (т. е. роста коррозионной трещины), разделяющая хорошо выраженную область 2 трещины, и область долома 4. Нас интересует область, разделяющая области 2 и 4. В образце № 1 она расположена между точками D–D–D и C–C–C (рис. 4, 5). Ширина ее составляет 150...250 мкм, что достаточно хорошо согласуется с измерениями под объективом инструментального микроскопа УИМ-21 на боковых поверхностях об-



разца перед разломом. В зоне коррозионного разрушения видна система фасеток квазихрупкого разрушения, которые образуют слои, упоминаемые выше (рис. 4, 5). Подобная картина имела место и в образце № 2. Однако в связи более коротким временем испытаний (336 ч) уменьшилась протяженность области коррозионного разрушения до 70 мкм, при этом также сократилось количество условных слоев коррозионного роста трещины.

Таким образом, морфология излома испытуемых образцов показывает приемлемость того, что в зоне водородного охрупчивания коррозионная трещина растет прыжками, но не одновременно по всему фронту, а отдельными пятнами, пере-

мещающимися достаточно хаотично вдоль фронта, тем не менее, образующими слои роста.

1. *Механiка руйнування та мiцностi матерiалiв: Довiд, посiбник / Пiд заг. ред. акад. НАН України В. В. Панасюка. В 7 т. Т. 7: Надiйностi та довговiчностi елементiв конструкцiй теплоенергетичного устаткування / За ред. І. М. Дмитраха. — Київ: Видавничий дiм «Академперiодика», 2005. — 376 с.*
2. *Механiка руйнування та мiцностi матерiалiв: Довiд, посiбник / За ред. проф. З. Т. Назарчука. В 6 т. Т.5: Неруйнiвний контроль i технiчна дiагностика. — Львiв: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2001. — 1132 с.*
3. *Махненко В. И., Шекера В. М., Оноприенко Е. М. Определение параметров упрощенной диаграммы статической коррозионной трещиностойкости трубных сталей при почвенной коррозии // Автомат. сварка. — 2008. — № 10. — С. 31–35.*

The relationship between the rate of growth of corrosion cracks and stress intensity factor was described on the basis of the static corrosion crack resistance diagram. The main working hypothesis that the crack growth is of a discrete character was proved by means of analytical scanning electron microscopy.

Поступила в редакцию 08.12.2009

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ»

4–8 октября 2010

г. Ялта, санаторий «Курпаты»

Организаторы конференции:

- Украинский информационный центр «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ»
- Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики
- Российское общество неразрушающего контроля и технической диагностики
- Белорусская ассоциация неразрушающего контроля и технической диагностики
- Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
- Днепропетровский национальный университет
- НПП «Машиностроение»

Тематика конференции:

- Общие вопросы неразрушающего контроля (НК) и технической диагностики (ТД)
- Теоретические вопросы взаимодействия физических полей с веществом контролируемых объектов
- Техническая диагностика и мониторинг состояния производственных объектов
- Контроль напряженного состояния конструкций, изделий и сварных соединений
- Опыт и перспективы НК на предприятиях горно-металлургического комплекса
- НК и ТД в нефтегазовой отрасли и энергетике
- Контроль и диагностика строительных конструкций
- Вибрационные методы диагностики
- Вопросы обучения, аттестации и сертификации специалистов, подразделений НК и ТД
- Разработка и гармонизация стандартов в области НК и ТД
- Метрологическое обеспечение средств НК
- Состояние и развитие НК и ТД в Украине
- Заседание Правления УО НКТД

Дополнительную информацию можно получить по тел./факсу: (+38044) 573-30-40 (с 8.00 до 14.00)
моб. тел.: 067-708-93-95