

О.А. Рудакова, Е.А. Кривоносова, М.Х. Арипов, Е.С. Захарова

Пермский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИОННОЙ УСТАЛОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ

Описана методика исследования коррозионной усталости сварных соединений магистральных газонефтепроводов. Представленная методика открывает возможность оптимизации режима термической обработки сварных соединений с целью повышения сопротивления усталости в условиях действия коррозионных сред.

Анализ аварий магистральных газонефтепроводов показывает, что до 50 % всех разрушений происходит из-за коррозии металла, при этом существенная часть приходится на сварные соединения. Структурная неоднородность различных участков сварных соединений труб, работающих в условиях сложного напряженного состояния и, как правило, в агрессивных средах, обуславливает необходимость исследования коррозионной повреждаемости прежде всего этого участка [1].

Поскольку условия работы газонефтепроводных труб характеризуются циклическостью воспринимаемой нагрузки, то большой интерес представляет исследование стойкости сварных соединений в условиях одновременного воздействия на металл циклических напряжений и коррозионных сред. При эксплуатации в таких условиях проявляется коррозионная усталость, которая имеет характерные отличия от механической (рис. 1): отсутствие горизонтального участка на кривой усталости; наличие многоочагового разрушения, развивающегося из участков коррозионного разрушения; более сильная зависимость от частоты циклов [2].

Рассмотрим влияние различных факторов на сопротивление усталости металла сварных соединений в условиях действия агрессивных сред. В работе [3] показано, что предел ограниченной выносливости уменьшается с увеличением агрессивности среды. Анализ актов разрушений магистральных газонефтепроводов показывает, что основным критерием коррозионной активности магистральных газонефтепроводов являются коррозионные свойства почвенных грунтов, богатых солями, растворы которых образуют электролиты [4]. Об этом свидетельствует тот факт, что места зарождения трещин находятся преимущественно в нижней части трубы, где вероятность воздействия почвен-

ной среды повышена. Так, химический анализ проб грунтов с мест разрушения магистрального газопровода показал, что в их состав входят ионы Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{+++} , анионы Cl^- , SO_4^{--} , F^- , NO_3^- . Следовательно, влияние агрессивности почвенной среды на сопротивление усталости может быть исследовано путем построения кривых усталости при испытании в агрессивных средах, представляющих собой растворы указанных выше ионов (3%-й раствор NaCl ; 3%-й раствор $\text{NaCl} + 1\% \text{FeCl} + 0,5\% \text{NaF}$; 3%-й раствор $\text{NaCl} + 0,1\% \text{H}_2\text{SO}_4$) [5].

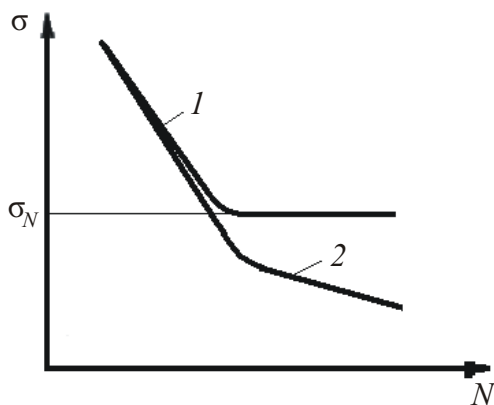


Рис. 1. Кривые усталости металла на воздухе (1) и в коррозионной среде (2); σ – напряжение, N – число циклов нагружения, σ_N – предел выносливости на воздухе

Как было отмечено ранее, сварное соединение представляет собой сложную в структурном отношении систему. Так, в работе [6] показано, что сварной шов состоит из достаточно крупных столбчатых кристаллов, а структура шва содержит преимущественно бейнит и сетку из пластин видманштеттова феррита. Зона термического влияния содержит узкую мартенсито-бейнитную область, крупнозернистую перегретую структуру, состоящую в основном из бейнита, перекристаллизованную феррито-перлитную область. Такая структурная неоднородность отрицательно сказывается на сопротивлении коррозионному растрескиванию под напряжением. Отмечено, что термическая обработка сварных соединений повышает сопротивление стали коррозионному растрескиванию, что свидетельствует о целесообразности ее проведения для труб магистральных газонефтепроводов.

Таким образом, сопротивление усталости в условиях действия коррозионных сред определяется, главным образом, следующими факторами: агрессивностью среды и структурным составом различных зон сварных соединений. При этом одним из методов повышения коррозионной стойкости наряду с применением изоляционных покрытий является термическая обработка сварных соединений магистральных газонефтепроводов. Следовательно,

оптимизация режима термической обработки в зависимости от агрессивности коррозионной среды является актуальной и важной. Для решения этой задачи наибольший интерес представляют ускоренные методы определения характеристик усталости.

В проблеме ускоренного определения характеристик сопротивления усталости все более актуальными становятся методы, оценивающие индивидуальные характеристики, т.е. сводящиеся к испытанию одного образца. Все однообразовые методы ускоренного определения характеристик сопротивления усталости дополнительно к полученным при испытании результатам используют априорную информацию, вытекающую из накопленных данных о закономерностях усталостного разрушения. В одних случаях в качестве априорной информации берутся так называемые условные кривые усталости, в других – корреляционные связи между параметрами кривой усталости, в третьих – зависимость разрушающего напряжения от скорости роста номинального брутто-напряжения при испытании, в четвертых – зависимость отношения разрушающего напряжения к пределу выносливости от скорости роста напряжения [7].

Однако очевидно, что применение при ускоренных испытаниях форсированных способов нагружения, сокращающих время пребывания испытываемых объектов (лабораторных образцов, моделей, натуральных деталей) в рабочей среде, неприемлемо из-за неполного учета роли коррозионного фактора в процессе разрушения. Поскольку у объектов, работающих в агрессивных средах, предел выносливости отсутствует, целью испытаний становится получение кривой коррозионной усталости, которая охватывала бы весь реальный диапазон долговечностей циклового нагружения. В связи с этим существенное значение приобретает форма кривой коррозионной усталости и выбор режима нагружения при проведении ускоренных испытаний.

Продолжительность ускоренных испытаний на коррозионную усталость в первую очередь связана с количеством исследуемых объектов. Оптимальным следует считать метод, при котором можно ограничиться в экстремальных случаях испытанием одного объекта и получить индивидуальную кривую коррозионной усталости. Было установлено, что кривую усталости стальных объектов в коррозионных средах можно описать единым степенным уравнением

$$\sigma^m N = 10^c = \text{const}, \quad (1)$$

где σ и N – текущие напряжение и число циклов до разрушения;
 m и C – параметры.

Индивидуальную кривую коррозионной усталости (как и кривую усталости в нейтральных средах) проще всего построить, если известны связи

параметров уравнения (1) друг с другом. Эти связи можно считать линейными. Например, связь $C(m)$ представляется в виде

$$C = am + b, \quad (2)$$

где a и b – коэффициенты, характеризующие конкретную среду. Важно, что эти коэффициенты практически остаются неизменными при увеличении размера объекта, изменении его формы или марки стали, частоты и режима нагружения. Кроме того, для агрессивных сред в виде электролитов эти коэффициенты лежат в узких пределах, что позволяет пользоваться усредненными их значениями. В среднем можно принять $a = 2,5$, $b = 5,0$, при выражении напряжений в МПа. Частные значения коэффициентов для различных сред получены путем статистического анализа кривых коррозионной усталости [8].

Описанный выше метод построения кривой коррозионной усталости нашел критический отзыв, основанный на том, что применение единого степенного уравнения может привести к занижению полученных результатов в области долговечностей $N = 5 \cdot 10^6 - 10^8$ циклов. В работе [9] предлагается метод построения кривой усталости, состоящей из двух ветвей с точкой перелома в зоне долговечностей $N = 10^6 - 5 \cdot 10^6$ циклов (рис. 2).

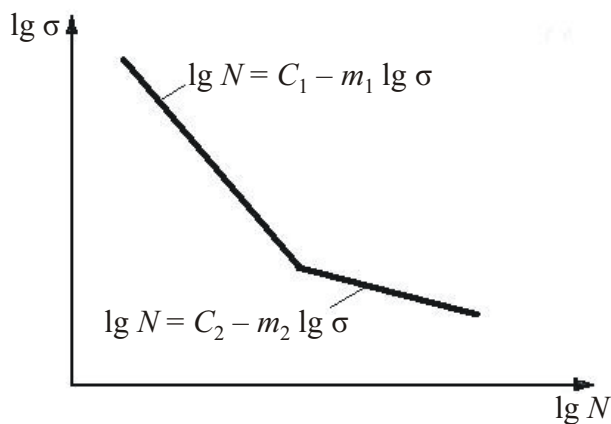


Рис. 2. Индивидуальная кривая усталости, построенная из двух ветвей

Поскольку цикличность воспринимаемых нагрузок при эксплуатации магистральных газонефтепроводов связана с периодичностью пусков и остановок компрессионных установок, общее число перемен напряжений, как правило, не превышает 10^5 циклов [10], индивидуальные кривые коррозионной усталости различных зон сварных соединений магистральных газонефтепроводов могут быть описаны одним степенным уравнением (1).

Таким образом, метод исследования коррозионной усталости сварных соединений магистральных газонетепроводов сводится к испытанию сварных

соединений в условиях усталостного изгиба и действия коррозионных сред различной агрессивности при постоянном номинальном брутто-напряжении σ с фиксированием долговечности N до разрушения. На основании полученных результатов строится уравнение $C = \lg \sigma + \lg N$ и определяется положение индивидуальной кривой усталости для заданной агрессивной среды (рис. 3).

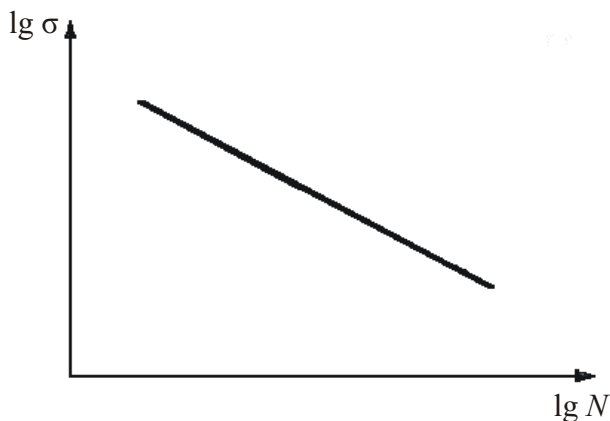


Рис. 3. Индивидуальная кривая усталости для заданной агрессивной среды

Несмотря на то что испытание отдельного образца может длиться несколько суток, применение данной методики значительно сокращает длительность испытаний и число испытываемых образцов, что открывает большие возможности для оптимизации режимов термической обработки сварных соединений магистральных газонефтепроводов.

Список литературы

1. Чельшев В.В., Бурняшев И.И., Кириченко В.В. Оценка коррозионной стойкости сварного соединения газонефтепроводных труб // Сварочное производство. – 1984. – № 4. – С. 23–25.
2. Похмурский В.И. Коррозионная усталость металлов: моногр. – Киев: Техніка, 1982. – С. 12–16.
3. Мудрук А.С., Гончаренко П.В. Коррозия и вопросы конструирования: монография. – Киев: Техніка, 1984. – С. 25–28.
4. Иванцов О.М. Надежность строительных конструкций магистральных трубопроводов: моногр. – М.: Недра, 1985. – С. 10–11.
5. Коррозионное растрескивание под напряжением сталей магистральных газонефтепроводов. III. Особенности повреждения труб в околосварной зоне / А.Ф. Матвиенко [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2000. – Т. 90. – № 3. – С. 104–112.

6. Коррозионное растрескивание под напряжением сталей магистральных газонефтепроводов. II. О взаимосвязи механических свойств и споровителения КРН / А.Ф. Матвиенко [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 1998. – Т. 86. – № 2. – С. 147–155.

7. Олейник Н.В., Скляр С.П. Ускоренные испытания на усталость: моногр. – Киев: Наукова думка, 1985. – С. 25–30.

8. Олейник Н.В., Коноплев А.В. Определение индивидуальных характеристик сопротивления коррозионной усталости // Заводская лаборатория. – 1994. – № 12. – С. 43–46.

9. Манукян Г.А. Новый метод ускоренного построения кривой коррозионной усталости стали // Заводская лаборатория. – 1991. – № 3. – С. 37–38.

10. Якубовский В.В. Экспериментальная и расчетная оценка несущей способности сварных соединений стали 13ХГМФ в области малых долговечностей // Проблемы прочности. – 1986. – № 74. – С. 50–55.

Получено 18.03.2010