

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ НА СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ РАЗРУШЕНИЮ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ

ЗОРИН Н.Е., инж.

Рассмотрены вопросы, связанные с влиянием асимметрии цикла нестационарного нагружения на интенсивность накопления рассеянной поврежденности и сопротивляемость разрушению трубных сталей.

Ключевые слова: магистральные трубопроводы, напряжение сжатия, сопротивляемость разрушению, микротрещина, метод меток.

NON-STATIONARY LOADING PARAMETERS UNFLUENCE UPON PIPE STEEL FAILURE RESISTANCE

A.E.ZORIN, engineer

This paper is devoted to the problems, which are connected with non-stationary loading asymmetry cycle influence upon diffused failure accumulation intensity and pipe steel failure resistance.

Key words: main pipelines, compression, failure resistance, minute crack, mark method.

В процессе эксплуатации магистральных трубопроводов из сталей контролируемой прокатки класса прочности Х70 было замечено, что значительная часть отказов приходится на участки, расположенные сразу за дожимными компрессорными станциями, так называемые «горячие участки». Это связано с более интенсивным снижением сопротивляемости коррозионно-механическому разрушению металла и сварных соединений этих участков.

Циклическая нагрузка в основной части трубопровода характеризуется асимметрией цикла на уровне $R = 0,4-0,6$, что связано, например, с процессами отбора газа, падением давления по длине. На «горячих участках» происходит наложение на общую нагрузку дополнительных гармоник (с различными амплитудами, частотой, максимальными напряжениями за цикл и т. д.), вызванных работой компрессорных станций. Это приводит к формированию нестационарного нагружения с высокой асимметрией цикла $R = 0,8-0,95$ при сохранении максимальных напряжений в стенке трубопровода.

В сталях контролируемой прокатки процесс усталостного разрушения начинается с образования микротрещин по границам зерен вследствие их наибольшей деформированности после термомеханической обработки. Микротрещина, образуясь в результате увеличения нагрузки, может остаться закрытой из-за смыкания берегов позади вершины на протяжении определенной части цикла нагружения.

По В. Элберу, впервые обнаружившему этот эффект, смыкание берегов трещины происходит в результате наличия на них остаточной пластической деформации, поскольку при разгрузке берега могут сомкнуться раньше, чем наступит полное снятие нагрузки. Также причинами закрытия трещин могут являться остаточная пластическая деформация у берегов трещины позади ее вершины (с понижением нагрузки на образец берега трещин смыкаются, испытывая при этом сжимающие напряжения, поверхности «свариваются», а при последующей разгрузке разрываются, обнажая свежие участки, склонные к взаимо-

действию с внешней средой), наличие окисных пленок с толщиной, соизмеримой с раскрытием трещины, шероховатости поверхности при наличии деформации сдвига в вершине трещины.

В ряде случаев эффект закрытия усталостных трещин связывают с остаточными напряжениями сжатия, обусловленными природой циклических деформаций в вершине трещины.

Закрытие усталостных трещин приводит к уменьшению амплитудного значения ΔK_{\max} до эффективного ΔK_{eff} , определяемого как $\Delta K_{\text{eff}} = \Delta K_{\max} - K_{\text{cl}}$, где K_{cl} – коэффициент интенсивности напряжения закрытия трещины. Эффект закрытия трещины количественно оценивается коэффициентом открытия трещины

$$U = (K_{\max} - K_{\text{cl}}) / (K_{\max} - K_{\min}) = \Delta K_{\text{eff}} / \Delta K.$$

По мере развития межзеренных трещин и роста в их вершине коэффициента интенсивности напряжений, определяемого выражением $K = \sigma\sqrt{\pi l}$, где l – длина трещины, разрушение переходит в транскристаллитное по достижению некоторых пороговых значений. На сопротивляемость развитию макротрещин в стенке трубопровода значительное влияние оказывает количество микротрещин, сформировавшихся в процессе нагружения на единицу объема.

Целью исследования была оценка влияния асимметрии цикла усталостного нагружения при постоянных значениях σ_{\max} за цикл на интенсивность накопления рассеянной напряженности в металле стенок труб из сталей контролируемой прокатки Х70. Был поставлен следующий эксперимент.

Из труб аварийного запаса диаметром 1420 мм с толщиной стенки 19,5 мм, выполненных из стали контролируемой прокатки класса прочности Х70, вырезались крупногабаритные образцы.

Длина образцов – 450 мм, в рабочей части они имеют ширину 100 мм и толщину 15 мм.

Использовались две группы образцов:

- 1-я группа получила предварительное циклическое нагружение на базе $N = 5 \cdot 10^5$ при $\sigma_{\max} = 0,9\sigma_T$, по $R = 0,8$;

• 2-я группа также получала предварительное циклическое нагружение на базе $N = 5 \cdot 10^5$ при $\sigma_{\max} = 0,9\sigma_T$, по $R = 0,45$.

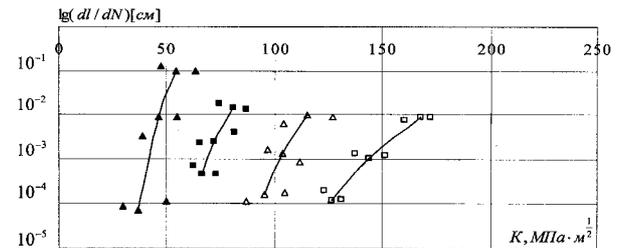
После этого в центральной части рабочего участка на все образцы наносили поверхностный третиноподобный концентратор напряжений фрезой толщиной 0,25 мм.

Длина надреза – 25 мм, глубина – 2,0 мм.

Для построения кинетической диаграммы усталостного разрушения использовался метод «меток». Проводя нагружение при одной и той же асимметрии и количестве циклов, но различных максимальных напряжениях за цикл, определялась зависимость параметров развивающейся трещины от режимов нагружения образцов, с помощью которой по диаграмме Хилда, Спинка и Вашингтона находилось текущее значение поправочного коэффициента M . При испытании образцы доводились до разрушения.

В результате эксперимента было установлено, что для партии образцов, имевших предварительное усталостное нагружение при асимметрии циклов $R = 0,8$, отмечается снижение порогового коэффициента интенсивности напряжений (КИН) K_{th} на 30–40 %, значение КИН, при котором поверхностная усталостная трещина стала сквозной, так же снизилось на 37–43 % по сравнению с

образцами, получившими предварительное циклическое нагружение при асимметрии цикла $R = 0,4$ (см. рисунок).



Кинетическая диаграмма усталостного разрушения в состоянии поставки и после 20 лет эксплуатации: ■ – металл при $R = 4,5$ после 20 лет эксплуатации; □ – металл при $R = 4,5$ в исходном состоянии; ○ – металл при $R = 0,8$ в исходном состоянии; ● – металл при $R = 0,8$ после 20 лет эксплуатации

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что увеличение асимметрии цикла R переменного нагружения с 0,4 до 0,8 приводит к более интенсивному накоплению рассеянной поврежденности в трубной стали X70 и, как следствие, к значительному снижению сопротивляемости коррозионно-механическому разрушению стенки трубы.