

УДК 622.692.4.053: 66.042.945

ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕННОСТИ ТРУБ ГАЗОПРОВОДОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗКАХ

А.А.Джумабаев, Р.А.Шупакова, Л.З.Жолшиева
ЮКГУ им. М.Ауезова, г.Шымкент

Анализ условий эксплуатации магистральных газопроводов [1,2] показывает, что характерной особенностью работы основных элементов линейной части трубопроводов (труб большого диаметра) является нестационарный режим нагружения их внутренним давлением, т.е. изменение давления в трубах подземных магистральных газопроводов имеет циклический характер. Причем, в сутки может наблюдаться даже несколько циклов (рисунок 1).

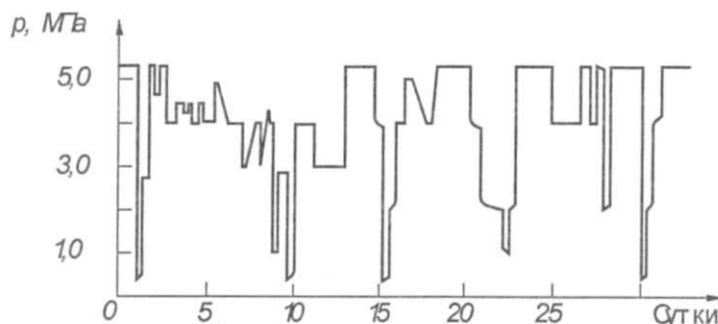


Рисунок 1 - Диаграмма изменения давления в магистральном газопроводе [2]

Под действием нагрузок такого рода отдельные участки трубопроводов у перекачивающих и газораспределительных станций работают в режиме малоциклового усталости. Анализ разрушений газопроводов показывает, что инициатором разрушения во многих случаях является механохимический процесс роста трещин в очаге разрушения, на которое указывает характер поверхности разрыва и отложения темно-бурого и черного цвета на этой поверхности. Для магистральных трубопроводов условия работы металла в зонах концентрации напряжений ужесточаются также действием коррозионно- и поверхностно-активных технологических и окружающих сред. Концентрация механических напряжений и циклическое нагружение труб интенсифицируют взаимодействие металла с окружающей активной средой, которые облегчают разрыв связей, приводят к образованию и продвижению трещины.

Таким образом, задача исследования малоциклового усталости трубных сталей и их сварных соединений в условиях воздействия рабочих и окружающих активных сред, характерных для эксплуатации трубопроводов, является актуальной.

Наряду с экспериментальным изучением долговечности материала при сложных циклических путях нагружения, необходимо произвести проверку применимости в этих условиях известных критериев малоциклового усталости [3].

Исходя из того, что в основу малоциклового разрушения заложен кинетический подход и введя в него меру повреждений Π ($0 < \Pi < 1$), соотношение

$$\Delta \varepsilon^{(\rho)} N_{\rho}^m = C \text{ или } \Delta \varepsilon^{(\rho)1/m} N_{\rho} = C^{1/m} \quad (1)$$

обобщим в виде кинетического уравнения повреждений. При этом величину Π можно определить следующим образом:

$$\Pi = \frac{\varphi(\varepsilon)}{\varphi(\varepsilon_p)}, \quad (2)$$

где ε_p - величина предельной деформации разрушения. Принимая поврежденность в виде степенной зависимости $\Pi = (\varepsilon / \varepsilon_p)^{1/m}$, запишем при N циклах с различной шириной петель гистерезиса $\Delta \varepsilon_k^p$ в виде:

$$\Pi = 2 \sum_{k=1}^N \left(\frac{\Delta \varepsilon_k^p}{c} \right)^{1/m}. \quad (3)$$

Учитывая, что ε_p в деформационном критерии должна рассматриваться как постоянная материала, преобразуем зависимость (3) в следующий вид:

$$\Pi = \sum_{k=1}^N \left(\frac{\Delta \varepsilon_k^p}{\varepsilon_p} \right)^{1/m}. \quad (4)$$

При этом условие разрушения принимает вид:

$$\sum_{k=1}^N \left(\frac{\Delta \varepsilon_k^p}{c} \right)^{1/m} = 1. \quad (5)$$

Постоянные m и c , определяемые по условиям аппроксимации кривой усталости (рисунок 2) для стали 09Г2С имеют следующие значения: $m = 0,62$; $c = 0,432$.

В случае неодноосного циклического нагружения в формулу (3) на основании [4] вводится интенсивность амплитуд пластической деформации $\Delta \varepsilon_{ij}^p$:

$$\Delta \varepsilon = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\Delta \varepsilon_x^p - \Delta \varepsilon_{\theta}^p)^2 + (\Delta \varepsilon_{\theta}^p - \Delta \varepsilon_r^p)^2 + (\Delta \varepsilon_r^p - \Delta \varepsilon_x^p)^2 + 6[(\Delta \varepsilon_{x\theta}^p)^2 + (\Delta \varepsilon_{\theta r}^p)^2 + (\Delta \varepsilon_{rx}^p)^2]} \quad (6)$$

Интенсивность амплитуд компонент $\Delta \varepsilon_{ij}^p$ в общем случае не равна амплитуде интенсивности пластической деформации, но в случае пропорционального нагружения эти величины совпадают.

Построим уравнение повреждения энергетического типа аналогично выводу кинетического уравнения (4), полагая, что

$$\Pi = \frac{\varphi(\omega)}{\varphi(\omega_p)}, \quad (7)$$

где ω - работа пластического деформирования за один цикл, ω_p - постоянная материала.

По аналогии с (4), принимая $\Pi = \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^{1/m}$, для циклического нагружения имеем:

$$\Pi = \sum_{k=1}^N \left(\frac{\omega_k}{B} \right)^{1/n} \quad (8)$$

Для жесткого стационарного нагружения получим:

$$\omega N_p^n = B \quad (9)$$

Постоянные n и B определены из кривой усталости $\omega - \lg N_p$ (кривая 1 на рисунке 3), построенной для стали 09Г2С по тем же экспериментальным данным, что и кривая $\Delta \varepsilon^p - \lg N_p$. Данные постоянные имеют следующие значения: $n=0,87$; $B=1245$.

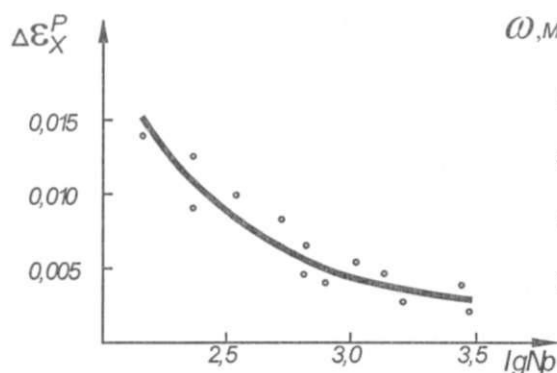
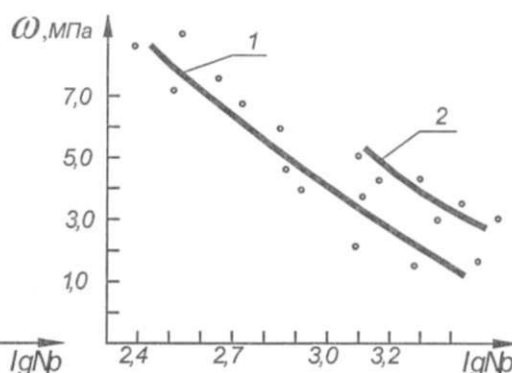


Рисунок 2 - Кривая усталости для стали 09Г2С



1—при линейном напряженном состоянии,
2—при плоском напряженном состоянии

Рисунок 3 - Зависимость числа циклов до разрушения от величины работы пластического деформирования за цикл

Следуя предложению Гарруда [5] при неоднoосном напряженном состоянии, в формулу (8) подставлялась величина работы пластического деформирования за цикл. Значение весового коэффициента $b=0,5$ получено путем приведения графика долговечности при плоском напряженном состоянии (кривая 2 на рисунке 3) к графику долговечности при линейном напряженном состоянии.

При постоянстве за период цикла максимальных и минимальных истинных напряжений уравнение повреждений упрощается в следующий вид:

$$\Pi(N) = \frac{\bar{\sigma}_{\max}(N)}{\sigma_p} + \sum_{k=1}^n \varphi \left(\frac{\omega_k}{\omega_p}, R_k \right) N_k, \quad (10)$$

где $\sigma_{\max}$ - максимальное за период цикла напряжение; σ_p - истинное сопротивление статического разрыва; n - число ступеней (блоков) нагружения; N_k - число циклов в k -ом блоке; ω_k - площадь петли пластического гистерезиса; ω_p - площадь под кривой статического разрушения.

В таблице 1 приведены расчетные значения повреждений, полученные по уравнениям (5), (8), (10). Анализ представленных данных показывает следующее:

1. Применение уравнения типа Мэнсона - Коффина в условиях сложного циклического нагружения может привести к существенным ошибкам в оценке долговечности материала труб. Так, для некоторых режимов нагружения величина повреждения отклонялась от еди-

единицы до трех раз. Среднее по всем опытам значение поврежденности получилось при этом в 1,5 -1,6 раза выше единицы, а отклонение среднего значения составило 1,1 – 1,3 раза.

2. Энергетический подход и концепция накопления поврежденностей свидетельствуют о хорошем совпадении расчетных и экспериментальных результатов, что позволяет рекомендовать использование в расчетах на малоцикловую усталость труб данного подхода.

Величина среднего для всех опытов значения поврежденности, рассчитанной по уравнениям (8) и (10), оказалась равной 1,031 и 1,280 соответственно, а отклонение от среднего составило 0,6-0,3 для уравнения (8) и 0,474-0,56 для уравнения (10). При этом для применения уравнения (8) требуется проведение двух видов базовых испытаний – циклическое нагружение при линейном и плоском напряженном состояниях. В то же время уравнение (10) требует проведения только одноосных испытаний. Кроме того, зависимость (10) может применяться при разной асимметрии цикла, что нельзя сказать о выражении (8).

Таблица 1 - Сопоставление расчетных значений поврежденности

№ опыта	Поврежденность по уравнениям:		
	(5)	(8)	(10)
1	2,004	1,047	1,246
2	1,841	0,946	1,173
3	2,211	1,136	1,382
4	2,451	1,260	1,514
5	2,672	1,374	1,585
6	2,563	1,322	1,586
7	1,988	1,016	1,241
8	0,370	0,521	0,769
9	0,394	0,544	0,778
10	0,346	0,487	0,745
11	0,342	0,483	0,736
12	0,862	0,975	0,981
13	0,876	1,011	1,014
14	0,734	0,896	0,937
15	0,225	0,404	0,704
16	0,227	0,391	0,696
17	0,243	0,417	0,702
18	2,647	1,449	1,616
19	2,280	1,352	1,457
20	2,370	1,418	1,527

Следует также отметить, что в случае неодноосного циклического напряженного состояния поврежденность принципиально нельзя вычислить как сумму поврежденностей, создаваемых отдельными компонентами напряжений, исходя из производимой ими работы пластического деформирования.

Литература

- 1 Гусенков А.П. Прочность при изотермическом и неизотермическом нагружении.-М.: Наука, 1979.- 295с.
- 2 Гусенков А.П., Аистов А.С. Исследование малоциклового прочностии труб большого диаметра магистральных газо- и нефтепроводов // Машиноведение.- 1975.- №3.-С.61-71.
- 3 Павлов П.А. и др. Об известных критериях малоциклового усталости в условиях сложного циклического нагружения с перегрузками // 11с.- Деп. в КазГосНТИ 27.03.95. N5971- Ка95.
- 4 Костюк А.Г., Трухний А.Д., Мичулин В.И. Критерий прочностии материалов при малоциклового усталости при сложном напряженном состоянии // Машиноведение.-1974. – №5. –С.63-67.
- 5 Гарруд С. Новый подход к расчету усталости при многоосных нагружениях //Теорет. основы инж. расчетов. -1981. – №2. –С.41-50.

Қорытынды

Жұмыста магистраль құбырдың қолданыс кезіндегі зақымдалынуын бағалау мәселелері қарастырылған. Сонымен қатар, қолданыстағы және ұсынылған теңдеулер бойынша есептелген зақымдалынудың сандық мәндері салыстырылған.

Summary

In the given job the questions of account damage to conditions of repeatedly - variable loading of the main pipeline are considered. The comparison numerical meaning of account damage under the existing and offered formulas is resulted.