УДК 539.421.2

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ ТРУБОПРОВОДА

Исламов Алим Азатович

студент

Научный руководитель: **Гарифуллина Гульназ Ильфировна**

к.т.н., преподаватель

ГАПОУ «Туймазинский индустриальный колледж»

Аннотация: большое количество трубопроводов, машин и аппаратов нефтегазовой отрасли в процессе эксплуатации подвергается воздействию циклически изменяющихся нагрузок. Это приводит к развитию усталостных повреждений. Примерно 90% повреждений деталей связано с возникновением и развитием усталостных трещин. Поэтому актуальной и важной задачей является оценка опасности обнаруженных дефектов.

Ключевые слова: усталость металла, циклические нагрузки, концентраторы напряжений, теоретический коэффициент концентрации напряжений, предел текучести стали.

INFLUENCE OF VOLTAGE CONCENTRATORS ON THE FATIGUE STRENGTH OF THE PIPELINE

Islamov Alim Azatovich

Scientific adviser: **Garifullina Gulnaz Ilfirovna**

Abstract: A large number of pipelines, machines and apparatuses of the oil and gas industry are exposed to cyclically varying loads during operation. This leads to the development of fatigue damage. Approximately 90% of the damage to parts is due to the occurrence and development of fatigue cracks. Therefore, an urgent and important task is to assess the risk of detected defects.

Key words: metal fatigue, cyclic loads, stress concentrators, theoretical stress concentration coefficient, yield strength of steel.

На всех этапах развития техники усталость металлов всегда считалась одной из главных причин аварийных разрушений и отказов оборудования различного назначения. Многие отказы производственных объектов вызваны усталостными явлениями (нефте- и газопроводы, аппараты химических производств, резервуары, самолеты и т.д.). Примерно 90% повреждений деталей связано с возникновением и развитием усталостных трещин. Поэтому актуальной и важной задачей является оценка опасности обнаруженных дефектов.

Усталость металла – это процесс постепенного накопления повреждений под действием переменных напряжений (деформаций), приводящих к изменению свойств, образованию трещин и разрушению [4, с. 15].

Усталостные трещины имеют жесткую привязку к концентраторам напряжений. Особенностью работы металла трубопровода является наличие надрезов, рисок, царапин, задиров, вмятин на его поверхности. Кроме того, в процессе эксплуатации развиваются коррозионные язвы на поверхности трубы. Сварные швы также являются концентраторами напряжений [3, с.156].

Усталостные трещины возникают при повторно-переменных нагрузках. Циклические деформации в металле трубопровода возникают за счет изменения давлений и температуры перекачиваемого продукта, особенностей технологического процесса. Внутреннее давление нередко падает из-за сбоев, аварий, переключений насосов, в результате чего трубопровод работает в условиях перепада нагрузок. Трещины усталости создают предпосылки для хрупкого разрушения, и в этом одна из главных причин их опасности [2, с. 80].

Для описания уровня концентрации напряжений в дефектах введено понятие теоретического коэффициента концентрации напряжений:

$$\alpha = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}, \quad (1)$$

где σ_{max} – максимальное напряжения в зоне концентрации напряжений,

σ_n – номинальное напряжение при упругой деформации.

В качестве исследуемого объекта рассматривался трубопровод 159х6мм узла фильтра нефтепродуктов (рисунок 1). Материал трубы сталь марки ВСт3сп. Предел текучести стали $\sigma_T=205$ МПа, допускаемое напряжение $[\sigma]=154$ МПа.

Рис. 1. Узел фильтра нефтепродуктов

На трубопроводе имелись концентраторы напряжений: сварные швы, механические риски, царапины, надрезы, коррозионные язвы, дефекты в виде округлой поры в сварном шве. Геометрические размеры концентраторов напряжений приведены на рисунке 2.

Рис. 2. Геометрические параметры концентраторов напряжений:

а – сварной шов (С56); б – сварной шов (У17);

в – механические риски, царапины, надрезы; г – коррозионная язва,

д – дефект в виде округлой поры в сварном шве

Для стыкового соединения теоретический коэффициент концентрации напряжений рассчитывается по формуле В. А. Кархина [2, с. 82]:

$$\alpha_{\sigma} = 1 + \frac{1}{\sqrt{\rho \cdot \left(\frac{14}{b} + \frac{1.7}{c} + \frac{5}{\delta} \right)}} = 1 + \frac{1}{\sqrt{15 \cdot \left(\frac{14}{12} + \frac{1.7}{2} + \frac{5}{6} \right)}} = 1 \quad (2)$$

где ρ – радиус перехода от шва к основному металлу, мм; b – ширина шва, мм; c – высота усиления шва, мм; δ – толщина металла, мм.

В тавровых, нахлесточных, угловых соединениях теоретический коэффициент концентрации напряжений рассчитывается по формуле Г.П.Турмова:

$$\alpha_{\sigma} = 1 + 0,2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \delta - K}{\rho}} = 1 + 0,2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 6 - 7}{15}} = 1,2, \quad (3)$$

где K – катет шва, мм.

Теоретический коэффициент концентрации напряжений для коротких механических рисок, царапин, надрезов и задиров при условии, что $d < l < 10d$, рассчитывается по формуле [1, с.53]:

$$\begin{aligned} \alpha_{\sigma} &= 1 + 3,57 \cdot \frac{b}{d} \cdot \frac{1,12 - 0,96 \cdot \frac{b}{l}}{1 - \frac{b}{\delta} \cdot \left(1 - 1,5 \cdot \frac{b}{l} \right)} = \\ &= 1 + 3,57 \cdot \frac{4}{7} \cdot \frac{1,12 - 0,96 \cdot \frac{4}{20}}{1 - \frac{4}{8} \cdot \left(1 - 1,5 \cdot \frac{4}{20} \right)} = 3,9, \end{aligned} \quad (4)$$

где δ – толщина трубы, мм; l – длина дефекта, мм; d – ширина дефекта, мм; b – глубина дефекта, мм.

При наличии коррозионной язвы на поверхности трубопровода теоретический коэффициент концентрации напряжений рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{\sigma} = 1 + 3,57 \cdot \frac{b}{d} \cdot \frac{1,12 - 0,96 \cdot (b/d)}{1 - (b/d) \cdot (1 - 1,5 \cdot b/d)} =$$

$$= 1 + 3,57 \cdot \frac{5}{10} \cdot \frac{1,12 - 0,96 \cdot (5/10)}{1 - (5/10) \cdot (1 - 1,5 \cdot 5/10)} = 2,3, \quad (5)$$

где d – диаметр язвы, мм; b – глубина язвы, мм.

При наличии округлой поры в сварном шве для расчета теоретического коэффициента концентрации напряжений используется следующая формула:

$$\alpha_{\text{пор}} = 1 + \frac{1,28}{1 - \frac{d}{\delta} \cdot 0,25} = 1 + \frac{1,28}{1 - \frac{10}{6} \cdot 0,25} = 3,2, \quad (6)$$

где d – диаметр поры, мм; δ – толщина стенки трубы, мм.

Таким образом, наиболее опасными концентраторами напряжений являются механические риски, царапины, надрезы ($\alpha_{\sigma}=3,9$). Наличие дефектов в сварном шве также существенно увеличивают концентрацию напряжений ($\alpha_{\text{пор}}=3,2$). В коррозионной язве коэффициент концентраций напряжений достигает 2,3.

В процессе эксплуатации трубопровод узла фильтра работает под давлением 40 атм (4МПа). Напряжение в теле трубы определим по формуле Барлоу:

$$\sigma = \frac{p \cdot d}{2 \cdot \delta} = \frac{4 \cdot 159}{2 \cdot 6} = 53 \text{ МПа}, \quad (7)$$

где p – давление в трубе, МПа; d – диаметр трубы, мм; δ – толщина стенки трубы, мм.

Величина напряжений в обнаруженных дефектах представлена в таблице 1.

Таблица 1

Значения напряжений в сварных швах и дефектах трубы

концентратор напряжения	сварной шов С56	сварной шов У17	механические риски, царапины	коррозионная язва	поры в сварном шве
напряжения σ , МПа	$53 \cdot 1,2 =$ 63,6 МПа	$53 \cdot 1,2 =$ 63,6 МПа	$53 \cdot 3,9 =$ 206,7 МПа	$53 \cdot 2,3 = 121,9$ МПа	$53 \cdot 3,3 =$ 174,9 МПа

Напряжения в механических рисках, царапинах, надрезах и в сварном шве с дефектом в виде округлой поры существенно превышают допустимое напряжение для стали ВСт3сп. Кроме того, напряжения в механических

дефектах превышают предел текучести стали. Следовательно, концентратор напряжений будет работать в области пластических деформаций, что приведет к возникновению и развитию усталостных трещин.

С целью уменьшения концентрации напряжений рекомендуется устранить механические дефекты, также исключить поры в сварных швах.

Список литературы

1. ОСТ 153-39.4-010-2002 Методика определения остаточного ресурса нефтегазопромысловых трубопроводов и трубопроводов головных сооружений: утвержден и введен в действие приказом Минэнерго России от 5 августа 2002г., N255: дата введения 2002-10-01. – URL <https://docs.cntd.ru/document/1200032590> (дата обращения: 29.04.2021). – Текст: электронный.
2. Гареев А.Г., Худяков М.А., Абдуллин И.Г. Разрушение материалов в коррозионных средах: учеб. пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – 124 с.
3. Степнов М.Н., Зинин А.В. Прогнозирование характеристик сопротивления усталости материалов и элементов конструкций. – М.: Изд-во Инновационное машиностроение, 2016. – 392 с.
4. Терентьев В.Ф., Кораблева С.А. Усталость металлов. – М.: Наука, 2015. – 484 с.

© А.А. Исламов, 2021