

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА “ВАНКОРСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ – НПС ПУРПЕ”

Гришин Е.В.,
Заведующий лабораторией УГНТУ
vngrishin@vankoroil.ru

Аннотация. Необходимость быстрого ввода в эксплуатацию нефтепровода “Ванкорское месторождение – НПС Пурпе” в сочетании с частичным нарушением технологии сварки сварочных работ привела к снижению качества выполненных сварных соединений, что явилось причиной возникновения дефектов в сварных соединениях и около шовных зонах. Поэтому весьма актуальной становится задача определения ресурса работоспособности нефтепровода с допустимыми дефектами сварных соединений. Исследовав влияния неравномерности распределения концентрации напряжения в зоне сварного шва и околошовной зоне, выполненных ручной электродуговой сваркой с использованием теоретического расчета.

Ключевые слова: нефтепровод “Ванкорское месторождение – НПС Пурпе”, сварные соединения, электродуговая сварка.

THE INFLUENCE OF DEFECTS IN WELDS ON THE EFFICIENCY OF THE MAIN PIPELINE “VANKOR FIELD - PUMPING STATION PURPE”

Grishin E.V.,
Head of the Laboratory UGNTU

Abstract. The need for fast commissioning of the “Vankor field - pumping station Purpe” in conjunction with a partial violation of welding technology welding operations has led to a decrease in quality of completed welds, which was the cause of defects in welded joints and around suture zones. That’s why the task of determining the resource efficiency of the pipeline with possible defects in welds becomes highly relevant. Examining the impact of the uneven distribution of stress concentration in the area of the weld and heat affected zone, made manual arc welding, using a theoretical calculation.

Keywords: pipeline “Vankor field - NPC purpe”, welded joints, electric arc welding.

На строящемся магистральном нефтепроводе “Ванкорское месторождение – НПС Пурпе”, сварные соединения с единичной сферической порой коэффициент концентрации напряжения можем расписать как,

$$\alpha(1,2) = 2,04(1+K1)$$

Коэффициент концентрации напряжений был применен при расчете безопасной эксплуатации нефтепровода Новороссийск-Туапсе где:

$$K1 = 0,0278R0/a+b \times 2R0/v^2(R^20+b^2) + 1/v^3 \arctg(-R0/b) + 2R0/a^2 (R^20 + a^2) + 1/a^3 \arctg [(R0/a) - 1/a^3$$

$$a \arctg(-R/a) \pm 0,167 R0/(a^2 + b^2) (2R0/v (R^20 + b^2))] + 1/b^2 \arctg(R0/b) - 1/v^2 \arctg(-R0/b) - 2R0/a(R^20 + a^2) - 1/a^2 \arctg(R0/a) + 1/a^2 \arctg(-R0/a)$$

R0 – радиус поры;

a – расстояние до наружной поверхности стенки

b – расстояние до внутренней поверхности стенки

трубы

Зависимость K1 от 2R0/σ определим графическим путем

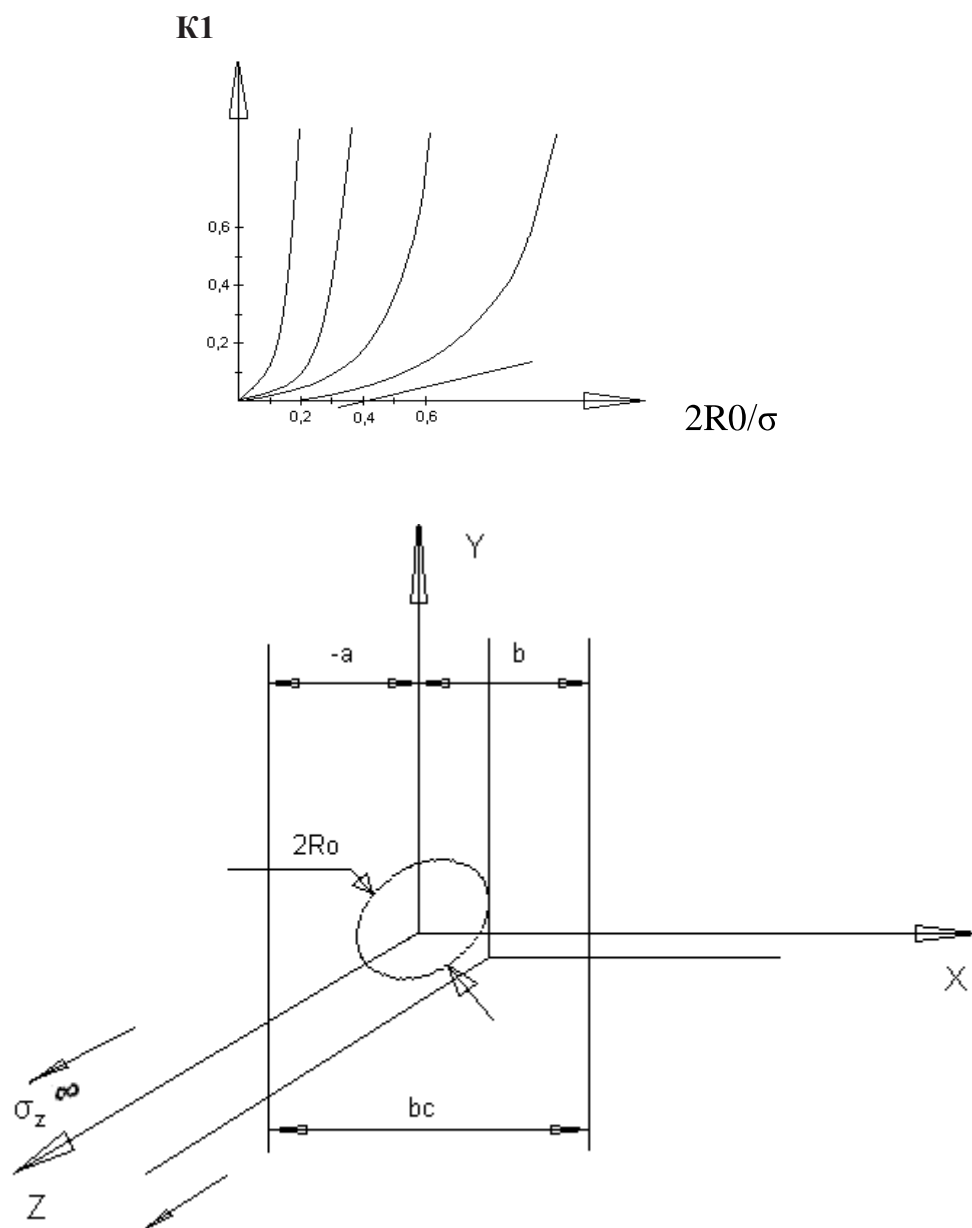


Рисунок 1

Если в строящемся нефтепроводе поры в сварных соединениях радиусом R_0 расположены в направлении, перпендикулярном к линии действия расчетных эксплуатационных нагрузок, то коэффициент концентрации напряжений выразим как

$$\alpha \leq 2,04(1 + K_2)$$

где k_2 – коэффициент, определяемый по графику

A – в зависимости от расстояния между порами d/R_0 . При уменьшении расстояния между порами K_2 и при $d=2R_0$ достигает 0,07

При расположении цепочки пор в сварных соединениях магистрального нефтепровода в направлении действия нагрузки транспортируемого потока нефти коэффициент концентрации напряжений выразим как

$$\alpha = 2,04(1+K_2)$$

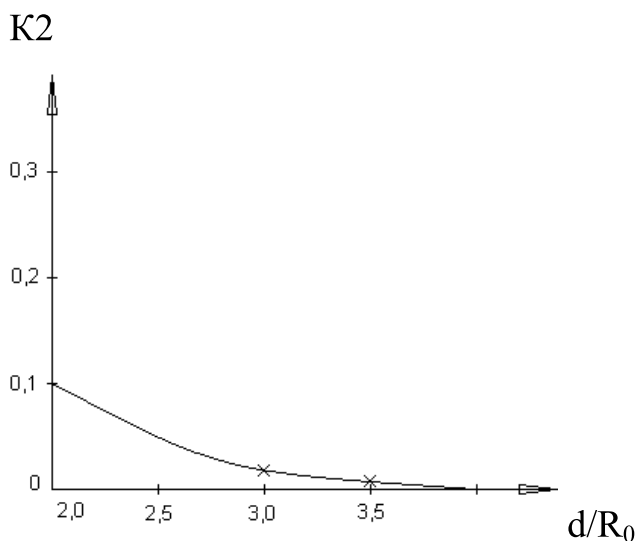


Рисунок 2

где K_2 - коэффициент, определяемый по графику рис. 2

В отличие от рассмотренного случая, когда цепочка пор располагалась перпендикулярно к линии действия нагрузки. На практике встречаются сварные соединения, где расстояния между порами имеет меньший размер чем сама пора (d/R_0), в этом случае происходит уменьшение концентрации напряжений ($K_3 < 0$). Из выше сказанного, при направлении нагрузки перпендикулярно к оси сварного соединения нефтепровода и при наличии пор вдоль сварного соединения происходит увеличение концентрации напряжений.

В нашем случае коэффициент концентрации напряжений запишем как

$$\alpha = 2,04(1+K_1)(1+K_2)(1+K_3)$$

При этом значения коэффициентов $K_1; K_2; K_3$; определяют дополнительную концентрацию напряжений в одних и тех же точках.

Основным фактором в повышении концентрации напряжений и снижении несущей способности сварных соединений магистрального нефтепровода "Ванкорское месторождение – НПС Пурпе" является глубина залегания дефектов.

Вышеприведенные расчеты показывают, что округленные дефекты сварных соединений являются

более опасными по сравнению с дефектами произвольной формы, и снижают безопасный срок эксплуатации нефтепровода.

При исследовании сварных стыков методом УЗК контроля выявили, что цепочка пор радиусом 0,002м расположенная в облицовочном слое служит начальной стадией образования микротрещины, что приведет к уменьшению срока безаварийной работы нефтепровода.

Если рассматривать неметаллические включения в сварных швах (окалина, нитриды, глиноземы и т.д), встречающихся в процессе сварочных работ крайне редко, модуль упругости которых, больше чем стали, коэффициент концентрации напряжений будет меньше единицы вследствие чего концентрация напряжений в металле в зоне локализации таких включений приравниваем к нулевым значениям.

Наиболее часто встречающийся дефект сварного соединения – это шлаковые включения.

Прочность, сварного соединения замеренная в районах шлаковых практически не отличается от прочности основного металла, поэтому в дальнейшей работе нефтепровода в процессе эксплуатации, шлаковые включения заметного влияния на работу сварного соединения не оказывают.

Особо следует обратить внимание на такие дефекты в сварных соединениях как непровары и несплавления. Данный вид дефекта в сварных швах встречается после нарушения режимов технологии сварки и недостаточной квалификации сварщиков проводящих сварочные работы. Особенность данных дефектов заключается в том, что они заканчиваются ответвлениями, просматривающихся на рентгенографических снимках как волосяные трещины. Коэффициент концентрации напряжений в сварных соединениях при несплавлении свариваемых кромок, в рабочем режиме нефтепровода составляет не менее 6 единиц. Что касается дефекта сварного соединения непровар. Наиболее опасными непроварами являются те, которые располагаются в корне шва и если непровары имеют острые окончания то коэффициент α составит более 20. Поэтому во время строительства магистрального нефтепровода "Ванкорское место-

рождение – НПС Пурпе” при анализе радиографических снимков сварных стыков приходилось закладывать более жесткие требования к сварным швам, чем те которые заложены по ВСН 012-88.

Предварительно можно сделать заключение, что шлаковые включения, непровары и несплавления при малоцикловом режиме работы нефтепровода будут также снижать безопасный срок эксплуатации нефтепровода.

Основным геометрическим дефектом сварного шва на магистральном трубопроводе, является отсутствие плавного перехода от сварного соединения к основному металлу тела трубы.

Вместе с тем, прочность сварного соединения магистральное нефтепровода в значительной степени определяется формой и внешними геометрическими размерами.

Существует довольно много формул по определению коэффициента концентрации напряжений α_0 для сварных соединений с разной геометрией усиления. В математических зависимостях нам необходимо связать α_0 с геометрическими размерами формы сварного соединения; шириной усиления шва $d_{ш}$, высотой усиления шва $b_{ш}$, радиусом плавного перехода от сварного соединения к основному металлу $r_{ш}$, углом наклона касательной к валику шва в месте его перехода к основному металлу Θ и толщиной стенки свариваемого нефтепровода δ .

Примем простую формулу для расчета α_0 в сварных швах магистральное нефтепровода с полным проплавлением стыкуемых кромок, учитывающим влияние подрезов.

Смещение свариваемых кромок в сварных стыках нефтепровода приводит к появлению дополнительных напряжений, определяемых по формуле

$$\sigma_{пр} = \sigma_{пр} (1 + 3 \Delta/\delta \epsilon)$$

$$\sigma_{кц} = \sigma_{кц} (1 - \sqrt{3}(1 - m) \Delta/\delta \sin\beta\epsilon + 3/2m \Delta/\delta \cos\beta\epsilon)$$

где σ , σ – напряжения на наружной и внутренней поверхности стенки трубопровода; Δ , δ – смещение кромок и толщина стенки трубопровода;

m – коэффициент Пуассона; $\sigma_{пр} = 0,5(p/R)/\delta$; $\sigma_{пр} = 0,3(p/R)/\delta$ – номинальные продольные напряжения на прямолинейных и криволинейных участках магистральное нефтепровода; $\sigma_{кц0} = (p/R)/\delta$ – номинальные кольцевые напряжения; p – проектное рабочее давление в магистральное нефтепроводе; R – радиус трубопровода;

Проанализировав примененные нами формулы, можно сделать вывод, что максимально продольные напряжения и кольцевые к номинальным напряжениям определяются выражением:

$$\sigma_{кц \max} / \sigma_{кц0} = 1 + 3m \Delta/\delta$$

В нашем случае значения максимальных напряжений в сварных соединениях магистральное нефтепровода зависит от значения смещения кромок.

Проанализировав зависимость, Δ/δ наблюдаем, что при увеличении данной зависимости на 10% значение продольных напряжений увеличивается на 30%, а значения кольцевых напряжений увеличивается на 9%. Максимальное значение продольных напряжений достигает уровня номинальных кольцевых напряжений при значении относительного смещения кромок Δ/δ на 0,33 для криволинейных участков нефтепровода и при Δ/δ на 0,8 для прямолинейных участков, поэтому при смещении кромок выходящих за пределы допустимых, принятых по ВСН 012-88, напряжения в кольцевых сварных соединениях меньше этих значений, поэтому началом разрушения магистральное нефтепровода могут проходить по продольным заводским швам.

Рассчитать теоретический коэффициент концентрации напряжений во время строительно-монтажных работ α_0 для сварных соединений с различной геометрией и формой усиления, возможно применив в этом случае аналитическую формулу связывающую α_0 с геометрическими параметрами соединения: шириной усиления $d_{ш}$, высотой усиления $b_{ш}$, радиусом перехода от шва к основному металлу $r_{ш}$, углом наклона касательной к валику шва в месте его перехода к основному металлу Θ и толщиной стенки трубопровода.

Рассмотрим формулу для расчета α_0 стыковых соединений, сваренных с полным проплавлением кромок для рассмотрения дефекта сварного соединения – подрез

$$\alpha_0 = [1 + 1/\sqrt{r_{ш}(14/d_{ш} + 1,7/b_{ш} + 5/\delta)}] (1 + 0,5\sqrt{b_{п}/r_{п}})$$

где $b_{п}$ – глубина подреза,

$r_{п}$ – радиус подреза

Сравнивая расчеты α_0 по приведенным формулам с расчетными данными, полученными для сварных соединений, получаем данное соотношение наиболее приемлемым для анализа концентрации напряжений в сварных стыках магистрального нефтепровода.

Максимально на величину концентрации напряжений в сварном соединении влияет радиус сопряжения сварного шва с основным металлом трубопровода $r_{п}$.

Выводы: Увеличение концентрации напряжений при уменьшении глубины залегания пор играет настолько значительную роль, что цепочка пор образовавшаяся в облицовочном слое сварного соединения, можем рассматривать как начало образования трещины сварного соединения. Механические характеристики сварных швов на строящихся нефтепроводах снижаются за счет присутствия дефектов в зоне сварного соединения. Установленные коэффициенты концентрации напряжений позволяют оценить значения предельных напряжений и определить срок безопасной работы нефтепровода. Скопление пор и отдельные одиночные поры имеют решающую роль только в тех случаях, когда располагаются на глубине не более чем в 9% толщины сварного соединения.

Список литературы:

1. Обеспечение надежности магистральных трубопроводов / А.А. Коршак, Г.Е. Коробков, В.А. Душин, Р.Р. Набиев. - Уфа: ООО «Дизайн Полиграф Сервис», 2000. - 170 с.
2. Чабуркин В.Ф., Канайкин В.А. Оценка опасности дефектов сварных соединений при диагностике газонефтепроводов // Сварочное производство. -2000. №9. - С. 41-44.
3. Фролов В.В. Теория сварочных процессов. М.: “Высшая школа”, 1988.
4. Худяков М.А, Би Вэньцзюнь Влияние геометрических концентраторов напряжений на работоспособность нефтепроводов // Трубопроводный транспорт нефти и газа: Материалы Всероссийской Научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов. - Уфа: УГНТУ, 2002.
5. Би Вэньцзюнь, Худяков М.А Влияние радиуса перехода от шва к основному металлу на долговечность сварных соединений трубопровода // Трубопроводный транспорт – сегодня и завтра: Материалы международной научно- технической конференции. – Уфа: УГНТУ, 2002.
6. Загороднев В.И. “Осторожно сварка” // Журнал трубопроводный транспорт. 2005. №1.
7. Винокуров В.А. Сварочные деформации и напряжения. М.: Машиностроение, 1968.
8. Гапченко М.Н. Хрупкие разрушения сварных соединений. М: Машгиз.