

УДК 620.191.34 : 621.791.75

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНЫХ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ С ПОРАМИ.
ЧАСТЬ 2. НЕКОТОРЫЕ ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ**

Коваленко В.В.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
e-mail: 9kova9@rambler.ru*

Ерофеев В.В., Богословский С.В.

Челябинский государственный агроинженерный университет, г. Челябинск

Аннотация. В статье рассмотрены некоторые частные случаи состояния сварных соединений с порами. Разработанный в первой части работы метод позволяет определять критическую интенсивность деформаций на контуре данных дефектов и уровень средних предельных напряжений.

Ключевые слова: вертикальный цилиндрический резервуар, напряженно-деформированное состояние, поверхностные раковины (поры), критические напряжения, концентрация деформаций и напряжений, упругопластическое деформирование

Рассмотрим применение методики, предложенной в работе [1] для исследования напряженно-деформированного состояния сварных соединений вертикальных цилиндрических резервуаров с порами, для двух наиболее характерных случаев:

1. Изолированная пора, произвольно расположенная в сварном соединении резервуара.
2. Цепочка пор в стыковых сварных швах резервуара.

Ранее в работе [1] было показано, что местоположение поры в сварном шве учитывается поправочной функцией F . На основе анализа характера изменения коэффициента концентрации напряжений вблизи поры в условиях объемного напряженного состояния нами предложена простая эмпирическая зависимость для оценки поправочной функции

$$F = \frac{4}{3 \operatorname{arctg}(h_1/a)} \left[1 + \frac{7}{60} \left(\operatorname{arctg} \frac{h_1}{a} \right)^2 + \frac{3}{1480} \left(\operatorname{arctg} \frac{h_1}{a} \right)^4 \right], \quad (1)$$

где h_1 – расстояние от контура поры до свободной поверхности; a – диаметр поры.

Определенные затруднения при определении критических напряжений, соответствующих образованию надрывов на контуре пор, как правило, составляет отсутствие диаграмм пластичности материалов, характеризующих взаимосвязь критических значений интенсивности деформаций от показателя жесткости напряженного состояния, представляющий собой отношение шаровой части тензора напряжений к девиаторной. Для большинства конструкционных материалов такие

данные по диаграммам пластичности можно найти, например, в работах [2, 3], или воспользоваться стандартными методиками для построения таких диаграмм. В качестве примера на рис. 1а, б приведены данные по определению критических напряжений для сварных соединений из алюминиевого сплава Амгб со стыковым швом из того же сплава (понтон) и для сварных соединений из стали 09Г2С с металлом шва, выполненным проволокой Св-08Г2С в зависимости от расстояния от контура поры до свободной поверхности.

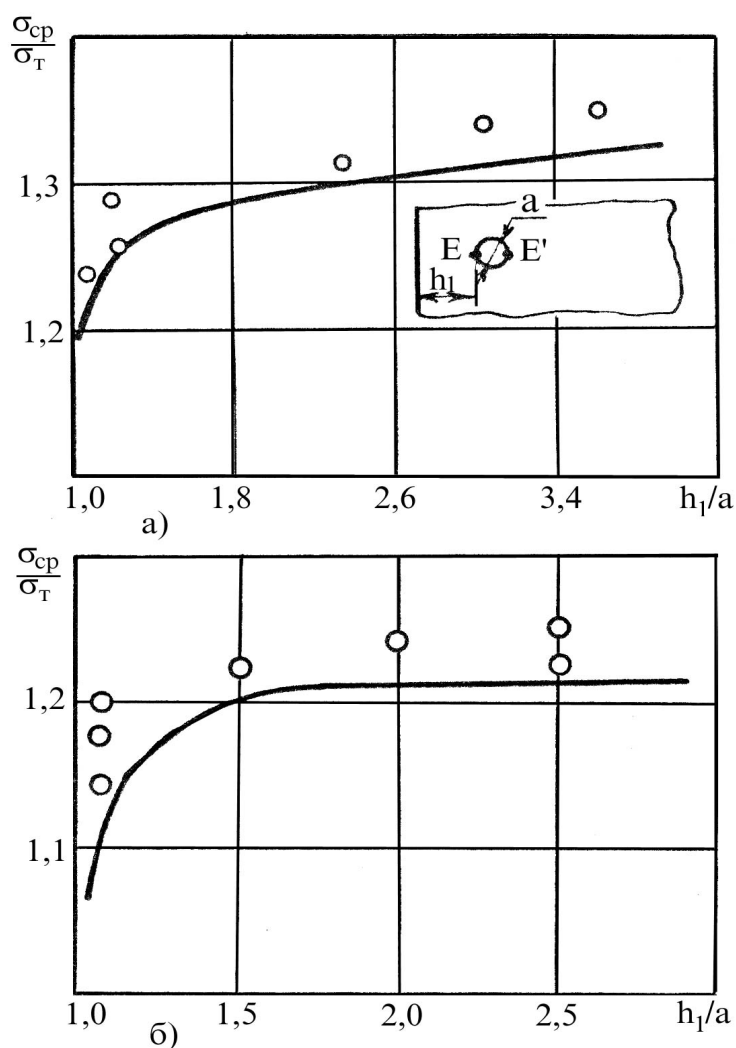


Рис. 1. Зависимость критических напряжений сварных соединений с порой от ее расположения относительно свободной поверхности:

- а – для сварных соединений из сплава Амгб;
- б – для сварных соединений из стали 09Г2С

Прочностные и пластические характеристики металла шва:

– для соединений из сплава АМг6: $\sigma_m = 240$ МПа; $\sigma_s = 240$ МПа;

$E = 0,7 \times 10^5$ МПа; $n = 0,072$; $\varepsilon_i^{kp} = 0,097$;

– для металла шва соединений из стали 09Г2С: $\sigma_m = 460$ МПа; $\sigma_s = 360$ МПа; $E = 2,1 \times 10^5$ МПа; $\varepsilon_i^{kp} = 0,65$.

Как следует из анализа полученных данных с уменьшением отношения h_1/a наблюдается существенное снижение критических напряжений σ_{cp}^{kp} , при которых образуются надрывы на контуре поры, что связано с увеличением концентрации деформаций и напряжений на данном участке. Особенно резкое снижение критических напряжений σ_{cp}^{kp} наблюдается при значениях параметра h_1/a в пределах от 1 до 2. Экспериментальные значения критических напряжений определяли по моменту образования надрывов на контуре пор по данным рентген-контроля на разных стадиях нагружения. Эти значения представлены точками на графиках (см. рис. 1а, б).

Оценку влияния цепочки пор на прочность стыковых сварных соединений резервуаров проводили исходя из следующих предположений.

Во-первых, на основе анализа изменения коэффициента концентрации напряжений в зависимости от расстояния между порами b и их диаметров a была предложена формула для оценки поправочной функции, которая имеет следующий вид

$$F = 1 + [0,28/(b/a)^{1,29}]. \quad (2)$$

Зависимости критических напряжений от отношения расстояния между порами к их диаметру представлены на рис. 2а, б.

Сварные соединения были выполнены из тех же материалов, что и в предыдущем случае (из сплава АМг6 и стали 09Г2С соответственно). Снижение σ_{cp}^{kp} наиболее резко наблюдается при $b/a \leq 1$. При $b/a \geq 3$ критические напряжения практически достигают насыщения. То есть в данном случае поры не влияют друг на друга. Таким образом, при нормировании пористости следует учитывать, что при $b/a > 3$ вероятность развития трещин и надрывов от пор значительно уменьшается.

Квазихрупкие разрушения при средних критических напряжениях ниже предела текучести материала шва возможны только при его низком ресурсе пластичности. Относительные значения критической интенсивности деформаций при

этом составляют: $\varepsilon_i^{kp} \left(\frac{2\sqrt{3}}{\sigma_m} \right) < 25$, а абсолютные значения соответственно:

$\varepsilon_i^{kp} \leq 3...5\%$, что характерно для весьма охрупченных сварных швов и является недопустимым.

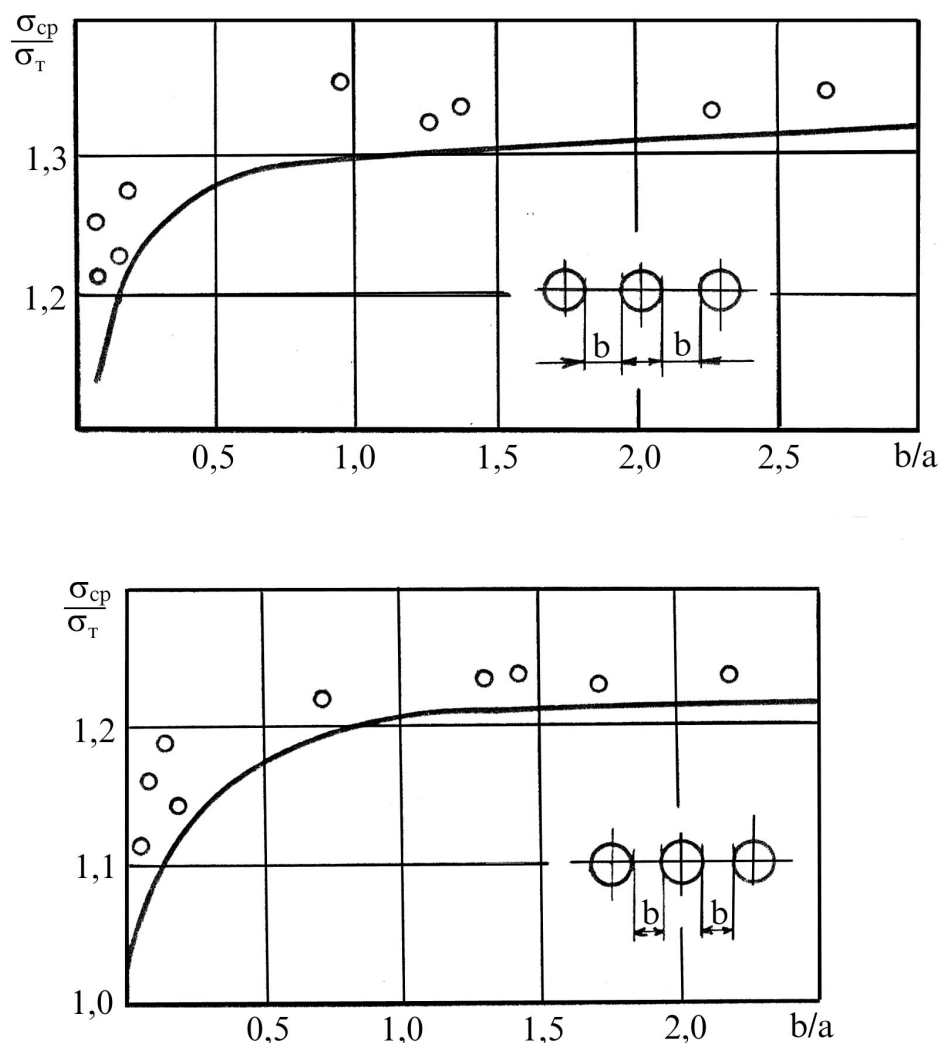


Рис. 2. Зависимость критических напряжений от отношения расстояния между порами к их диаметру b/a

Таким образом, предложенный метод решения задачи об упругопластическом деформировании сварных соединений с порами позволяет в каждом конкретном случае определять критическую интенсивность деформаций на контуре данных дефектов и соответствующий данному моменту уровень средних предельных напряжений, при которых по контуру пор происходит образование надрывов вследствие исчерпания ресурса пластичности металла шва.

Наиболее неблагоприятной ситуацией, способствующей образованию указанных надрывов на контуре пор при низком уровне приложенных средних напряжений, является приближение данных дефектов к свободной поверхности на расстояние менее двух диаметров и друг к другу на расстояние менее трех диаметров пор. В результате чего происходит образование выпучин, трещин, расслоений.

Литература

1. Коваленко В.В., Ерофеев В.В., Богословский С.В. Исследование напряженно-деформированного состояния сварных соединений вертикальных цилиндрических резервуаров с порами. Часть 1. Общий теоретический подход // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". 2011. № 6. С. 439 - 446. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Kovalenko/Kovalenko_1.pdf
2. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. М.: Metallurgy, 1970. 230 с.
3. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. М.: Metallurgy, 1984. 144 с.

**INVESTIGATION OF STRESS-STRAIN STATE OF WELD JOINTS
OF VERTICAL CYLINDRICAL TANKS WITH PORES.
PART 2. SOME SPECIAL CASES**

V.V. Kovalenko¹

*Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
e-mail: ¹9kova9@rambler.ru*

V.V. Erofeev, S.V. Bogoslovskiy

Chelyabinsk State Agroengineering University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. *In this article we consider some special cases of the state of welded joints with the pores. Designed in Part 1 the method allows to determine the critical strain intensity on the contour of these defects and the level of medium stresses limit.*

Keywords: *vertical cylindrical tank, stress-strain state, surface sinks (pores), the critical stress, the concentration of stresses and strains, elastoplastic deformation*

References

1. Kovalenko V.V., Erofeev V.V., Bogoslovskiy S.V. Investigation of stress-strain state of weld joints of vertical cylindrical tanks with pores. Part 1. General theoretical approach (Issledovanie naprya-zhenno-deformirovannogo sostoyaniya svarnykh soedinenii vertikal'nykh tsilindricheskikh rezervuarov s porami. Chast' 1. Obshchii teoreticheskii podkhod), *Electronic scientific journal "Neftegazovoe delo - Oil and Gas Business"*, 2011, Issue 6, pp. 439 - 446. http://www.ogbus.ru/authors/Kovalenko/Kovalenko_1.pdf
2. Kolmogorov V.L. Napryazheniya, deformatsii, razrushenie (Stresses, strains, fracture). Moscow, Metallurgiya, 1970. 230 p.
3. Bogatov A.A., Mizhiritskii O.I., Smirnov S.V. Resurs plastichnosti metallov pri obrabotke davleniem (Resource of metal plasticity under pressure treatment). Moscow, Metallurgiya, 1984. 144 p.

