

УДК 621.791.019

В.О. Гаевский, аспирант**В.М. Прохоренко**, д-р техн. наук

НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина

**РАСЧЁТ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ПОРИСТОСТИ
ДЛЯ ЕДИНИЧНОГО УЧАСТКА СВАРНОГО ШВА****В.О. Гаєвський**, аспірант**В.М. Прохоренко**, д-р техн. наук

НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

**РОЗРАХУНОК ЙМОВІРНОСТІ ВИКОНАННЯ ВИМОГ ДО ПОРИСТОСТІ ДЛЯ
ОДИНИЧНОЇ ДІЛЯНКИ ЗВАРНОГО ШВА****Vladimir Gayevskiy**, PhD student**Vladimir Prokhorenko**, Doctor of Technical Sciences

NTUU «KPI», Kiev, Ukraine

**CALCULATION OF PROBABILITY OF IMPLEMENTATION
OF REQUIREMENTS TO POROSITY FOR THE SINGLE AREA
OF THE WELD-FABRICATED GUY-SUTURES**

Применение статистических методов при анализе данных о пористости сварных швов позволяет учитывать статистическую природу образования пор. Использование вероятности выполнения требований к пористости сварных швов в качестве критерия при оценке устойчивости сварочных материалов и процессов сварки к образованию пор, анализе данных о пористости в сварочном производстве способствует объективности полученных выводов. Представлена зависимость вероятности одновременного выполнения требований к пористости сварных швов от параметров статистического распределения диаметра пор, количества пор на единичном участке сварного шва и относительной суммарной площади пор. В основу зависимости положены статистические законы Пуассона и Вейбулла.

Ключевые слова: сварка, пористость, выполнение требований, показатели пористости.

Використання статистичних методів під час аналізу даних про пористість зварних швів дозволяє враховувати статистичну природу утворення пор. Застосування ймовірності виконання вимог до пористості зварних швів як критерію у процесі оцінювання стійкості зварювальних матеріалів і процесів зварювання до утворення пор, аналізування даних про пористість у зварювальному виробництві сприяє об'єктивності отриманих висновків. Представлено залежність ймовірності одночасного виконання вимог до пористості зварних швів від параметрів статистичного розподілу діаметру пор, кількості пор на одиничній ділянці зварного шва і відносної сумарної площі пор. В основу залежності покладені статистичні закони Пуассона і Вейбулла.

Ключові слова: зварювання, пористість, виконання вимог, показники пористості.

Application of statistical methods at the analysis of data about porosity of the weld-fabricated guy-sutures allows to take into account statistical nature of formation of pores. Use of probability of implementation of requirements to porosity of the weld-fabricated guy-sutures as a criterion at the estimation of stability of welding materials and processes of welding to education of pores, analysis of data about porosity in a welding production instrumental in objectivity of the got conclusions. Dependence of probability of simultaneous implementation of requirements is presented to porosity of the weld-fabricated guy-sutures from the parameters of the statistical distributing of diameter of pores, amount of pores on the single area of the weld-fabricated guy-sutures and relative total area of pores. The statistical laws of Puassona and Veybulla are fixed in basis of dependence.

Key words: welding, porosity, implementation of requirements, indexes of porosity.

Постановка проблемы. С одной стороны наблюдается явно выраженная изменчивость образования пор в сварных швах, проявляющаяся в том, что, несмотря на все усилия, направленные на предотвращение пор, они время от времени появляются, часто без видимых причин. С другой стороны, при оценке устойчивости процессов сварки к образованию пор, анализе данных о пористости в сварочном производстве используются детерминированные подходы и показатели, что снижает объективность и обоснованность формулируемых при этом выводов.

Анализ последних исследований и публикаций. Тенденцией последних лет является применение статистических методов при анализе данных о дефектах в сварочном производстве [1-7]. Путём статистической обработки большого количества данных, полученных при производстве и эксплуатации сварных изделий, определены статистические законы, адекватно описывающие изменчивость основных показателей пористости сварных швов [5-7]. При этом есть возможность рассчитывать вероятность выполнения требований к пористости сварных швов по каждому отдельному показателю.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Отсутствует математическая зависимость, позволяющая рассчитать вероятность одновременного выполнения требований по основным показателям пористости сварного шва.

Цель статьи. Целью статьи является выведение математической зависимости, которая позволяет рассчитывать вероятность выполнения требований к пористости сварных швов одновременно по диаметру пор, их количеству на единичном участке сварного шва и относительной суммарной площади пор.

Изложение основного материала. Нормативные требования к пористости сварных швов сводятся к ограничению максимального диаметра поры d_{USL} и максимальной относительной суммарной площади q_{USL} пор на единичном участке сварного шва.

Для некоторых изделий дополнительно ограничивают максимальное количество пор x_{USL} на единичном участке сварного шва.

Фактический диаметр d поры определяют прямым измерением на рентгенограмме или в изломе сварного шва.

Фактическое количество x пор на единичном участке сварного шва определяют прямым подсчётом количества пор на рентгенограмме или на поверхности излома в пределах единичного участка сварного шва, а относительную суммарную площадь $q_{пор}$ пор в исследуемой проекции единичного участка сварного шва рассчитывают из отношения

$$q_{пор} = \left(\frac{S_{пор}}{S_{пол}} \right) \cdot 100\% , \quad (1)$$

где $S_{пор}$ – суммарная площадь пор в исследуемой проекции единичного участка сварного шва, мм²; $S_{пол}$ – площадь металла сварного шва в исследуемой проекции единичного участка сварного шва, мм².

Для каждого контролируемого единичного участка сварного шва определяют фактические значения перечисленных выше показателей пористости d , x , $q_{пор}$. При неизменных параметрах процесса сварки показатели пористости могут существенно отличаться даже для соседних единичных участков. Между тем, по результатам выборочных замеров показателей пористости на ограниченном количестве единичных участков сварного шва делают выводы о пористости сварного изделия в целом, пригодности процесса сварки и достаточности квалификации сварщика.

Для учёта фактической изменчивости показателей пористости следует применять статистические критерии оценки устойчивости сварных швов к образованию пор. В качестве такого критерия может быть принята вероятность выполнения требований к пористости сварного шва.

По данным исследований [5-7], изменчивость диаметра пор d подчиняется закону Вейбулла. Поскольку площадь поры является функцией её диаметра, то и суммарная площадь пор функционально определяется диаметром пор. Следовательно, и относительная суммарная площадь пор является функцией диаметра пор. Изменчивость относительной суммарной площади пор $q_{пор}$, так же как и диаметра d , подчиняется закону Вейбулла. Статистическое распределение количества пор, регистрируемых на единичном контролируемом участке сварного шва, описывается законом Пуассона [6].

При нормативно установленных предельно допустимых значениях максимального диаметра поры d_{USL} , максимального количества пор на единичном участке сварного шва x_{USL} и максимальной относительной суммарной площади пор q_{USL} , вероятность выполнения требований к пористости сварного шва $P_k^{пор}$ определяется по правилу умножения вероятностей. Вероятность одновременного выполнения требований к диаметру пор, к их количеству на единичном участке сварного шва и к относительной площади пор

$$P_{\kappa}^{nop} = P_{\kappa d} \cdot P_{\kappa x} \cdot P_{\kappa q}, \quad (2)$$

где $P_{\kappa d}$ – вероятность выполнения требования к диаметру пор на единичном участке сварного шва; $P_{\kappa x}$ – вероятность выполнения требований к количеству пор на единичном участке сварного шва; $P_{\kappa q}$ – вероятность выполнения требований к относительной суммарной площади пор на единичном участке сварного шва.

Вероятность того, что диаметр поры не превышает заданное предельно допустимое значение d_{USL} , может быть рассчитана как вероятность выполнения требований к диаметру пор на единичном участке сварного шва

$$P_{\kappa d} = 1 - \left(1 - e^{-\mu}\right) \cdot e^{-\left[\left(\frac{d_{USL}}{a_d}\right)^{b_d}\right]}, \quad (3)$$

где μ – среднее количество пор, регистрируемое на единичном участке сварного шва; a_d – параметр размера Вейбулловского распределения диаметра пор; b_d – параметр формы Вейбулловского распределения диаметра пор.

Параметр размера a_d Вейбулловского распределения определяет ширину диапазона возможных значений диаметра пор. Чем больше значение параметра размера a_d , тем шире этот диапазон, при этом 63,2 % всех пор сварного шва имеют диаметр, не превышающий значение a_d параметра масштаба распределения Вейбулла.

Параметр формы b_d определяет значения угла наклона кривой плотности вероятности распределения Вейбулла. С увеличением значения параметра формы b_d увеличивается угол наклона кривой.

Фактические значения параметров a_d и b_d могут быть рассчитаны по данным экспериментального исследования пористости сварных швов.

Вероятность выполнения требований к количеству пор на единичном участке сварного шва χ_{USL} рассчитывается по распределению Пуассона [6]

$$P_{\kappa x} = G(\chi_{USL}, \mu) = \sum_{i=0}^{\chi_{USL}} \left(\frac{\mu^i}{i!} e^{-\mu}\right), \quad (4)$$

где $G(\chi_{USL}, \mu)$ – функция распределения Пуассона для количества пор на единичном участке сварного шва; μ – среднее количество пор на единичном участке сварного шва.

Вероятность выполнения требований к относительной суммарной площади пор на единичном участке сварного шва q_{USL} рассчитывается

$$P_{\kappa q} = 1 - \left(1 - e^{-\mu}\right) \cdot e^{-\left[\left(\frac{q_{USL}}{a_q}\right)^{b_q}\right]}, \quad (5)$$

где a_q – параметр размера Вейбулловского распределения относительной суммарной площади пор; b_q – параметр формы Вейбулловского распределения относительной суммарной площади пор.

Подстановкой в формулу (2) соответствующих зависимостей (3)-(5) получаем формулу для расчёта вероятности выполнения требований к пористости сварного шва

$$P_{\kappa}^{nop} = \left\{1 - \left(1 - e^{-\mu}\right) \cdot e^{-\left[\left(\frac{d_{USL}}{a_d}\right)^{b_d}\right]}\right\} \cdot \left\{\sum_{i=0}^{\chi_{USL}} \left(\frac{\mu^i}{i!} e^{-\mu}\right)\right\} \cdot \left\{1 - \left(1 - e^{-\mu}\right) \cdot e^{-\left[\left(\frac{q_{USL}}{a_q}\right)^{b_q}\right]}\right\}.$$

Вероятность выполнения требований к пористости сварных швов определяется двумя составляющими. *Первая* составляющая – предельно допустимые значения диаметра d_{USL} , количества пор на единичном участке сварного шва χ_{USL} , относительной

суммарной площади пор на единичном участке сварного шва q_{USL} . Предельно допустимые значения этих показателей устанавливаются нормативными требованиями к сварным швам. Чем больше предельно допустимые значения, тем выше вероятность выполнения требований к пористости сварных швов. *Вторая* составляющая – устойчивость процесса сварки к образованию пор. Фактически устойчивость процесса сварки к образованию пор обеспечивается технологическими мероприятиями, предотвращающими образование пор. Эти мероприятия определяют: диаметры образующихся пор, а значит и параметры размера a_d и формы b_d Вейбулловского распределения диаметра пор; количество пор на единичном участке сварного шва, а значит и среднее количество пор на единичном участке сварного шва μ ; параметры размера a_q и формы b_q Вейбулловского распределения относительной суммарной площади пор.

В случае отсутствия нормативных требований по какому-либо из показателей пористости d , x или q , в расчётах вероятность выполнения требований по этому показателю следует принимать равной единице.

Для проверки адекватности теоретически полученной зависимости вероятности выполнения требований к пористости рассмотрим граничные условия по параметрам распределения Пуассона.

Первая граничная ситуация. Значение среднего количества пор на единичном участке сварного шва равно нулю. Такая ситуация возможна только в случае полного отсутствия пор на единичном участке сварного шва. Подстановка $\mu = 0$ и расчёт по полученной нами зависимости показывает, что все три составляющие, а именно, вероятность выполнения требований к диаметру пор, к количеству пор на единичном участке сварного шва и к относительной суммарной площади пор становятся равными единице. Следовательно, вероятность выполнения требований к пористости сварных швов на единичном участке в целом равна единице. Такой результат расчётов по представленной зависимости полностью логичен, действительно, если поры на единичных участках сварных швов отсутствуют, то все сварные швы соответствуют требованиям к пористости.

Вторая граничная ситуация. Значение среднего количества пор на единичном участке сварного шва стремится к бесконечности, то есть наблюдается неограниченно большое количество пор на единичном участке сварного шва, а металл сварного шва имеет пемзовидное строение. Подстановка $\mu \rightarrow \infty$ и расчёт по полученной нами зависимости показывает, что независимо от того, какие значения принимает диаметр пор и относительная суммарная площадь пор, значение второго множителя, связанного с количеством пор на единичном участке сварного шва становится равным нулю и вероятность выполнения требований к пористости сварных швов на единичном участке в целом становится равной нулю. Такой результат расчётов также логичен, пемзовидный сварной шов не может удовлетворять требованиям к пористости.

Таким образом, подстановка данных, соответствующих граничным условиям, в полученную нами зависимость приводит к непротиворечивым и логичным результатам расчётов, что свидетельствует в пользу адекватности представленной расчётной зависимости.

Полученная зависимость позволяет комплексно оценивать способность процесса сварки выполнять требования к пористости сварных швов по диаметру пор, их количеству на единичном участке сварного шва и относительной суммарной площади пор. Такая комплексная оценка необходима при испытаниях на свариваемость по показателю устойчивости к образованию пор, аттестации процесса сварки, аттестации сварщиков, определении пригодности разработанной или изменённой технологии сварки на этапе подготовки производства, анализе данных о качестве продукции в ходе производства сварных изделий. Расчётная вероятность выполнения требований к пористости сварных

швов может быть использована как критерий устойчивости процесса сварки к образованию пор и как показатель для статистического контроля процесса сварки по пористости сварных швов.

Выводы и предложения.

1. Получена зависимость для расчёта вероятности комплексного выполнения нормативных требований к пористости сварных швов по показателям диаметра, относительной суммарной площади пор и количества пор на единичном участке сварного шва. Для расчёта вероятности выполнения требований к пористости сварных швов необходимо знать предельно допустимые значения диаметра пор, количества пор на единичном участке сварного шва, относительной суммарной площади пор, а также значения параметров статистического распределения показателей пористости сварного шва.

2. Полученная зависимость может быть использована при разработке сварочных материалов для оценки устойчивости к образованию пор, при аттестации процессов сварки по устойчивости к образованию пор, при анализе данных о пористости сварных швов в сварочном производстве. Расчётное значение вероятности выполнения требований к пористости для единичного участка сварного шва может быть использовано как критерий устойчивости к образованию пор.

Список использованных источников

1. *Тараричкін І. О.* Статистичні методи забезпечення якості продукції зварювального виробництва : монографія / І. О. Тараричкін. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2002. – 336 с.

2. *Деев Г. Ф.* Дефекты сварных швов / Г. Ф. Деев, И. Р. Пацкевич. – К. : Наук. думка, 1984. – 208 с.

3. *Прохоренко В. М.* Научно-техническая проблема автоматизированного контроля качества сварных соединений / В. М. Прохоренко, И. М. Чертов, В. О. Гаевский // Вісник Донбаської держ. машинобуд. академії. – 2012. – № 3. – С. 236-240.

4. *Чвортко Е. П.* Прогнозирование качества сварных соединений при контактной стыковой сварке оплавлением по статистическим характеристикам / Е. П. Чвортко, Н. В. Шевченко, А. Е. Пирумов // Вісник Донбаської держ. машинобуд. академії. – 2012. – № 3. – С. 274-279.

5. *Вероятностный* риск-анализ конструкций технических систем / А. М. Лепихин, Н. А. Махутов, В. В. Москвичев, А. П. Черняев. – Новосибирск : Наука, 2003. – 174 с.

6. *Волченко В. Н.* Статистические методы управления качеством по результатам неразрушающего контроля / В. Н. Волченко. – М. : Машиностроение, 1976. – 64 с.

7. *Бурнашев А. В.* Эксплуатационная надежность конструкций севера [Электронный ресурс] / А. В. Бурнашев, А. М. Большаков. – Режим доступа : <http://rudocs.exdat.com/docs/index-370719.html>.