

Прохоренко В.М., Гаєвський В.О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Україна, м. Київ

ЙМОВІРНІСТЬ НЕВИКОНАННЯ ВИМОГ ДО ПОРИСТОСТІ ШВА ПРИ ЗВАРЮВАННІ ПІД ФЛЮСОМ

Експериментально досліджено вплив на показники пористості зварних швів введення в зону зварювання дистильованої води. Підтверджено, що кількість пор на одиничній ділянці зварного шва розподіляється за законом Пуассона, а їх діаметр за законом Вейбулла. Показана можливість екстраполяції на виробничі умови експериментальних даних, отриманих при лабораторному дослідженні водневої пористості.

Ключові слова: дугове зварювання під флюсом; виконання вимог до пористості; кількість пор; діаметр пор

Вступ

Пори впливають на щільність та механічні властивості зварних швів. В залежності від призначення та умов експлуатації зварного виробу, невиконання вимог до пористості може призводити до втрати герметичності. Зменшення за рахунок пористості перетину шва більше, ніж на 5%, зумовлює пластичну деформацію при меншому навантаженні, зменшує відносне подовження та кут загибу металу зварного шва. Особливо значний вплив створюють пори на механічні властивості металу зварного шва при змінних навантаженнях. Зменшення площі поперечного перетину зварного шва на 0,8% призводить до зменшення опору втомі зварного металу шва на 20%. На жаль, сучасні методи попередження появи пор не гарантують їх повної відсутності, особливо при дуговому зварюванні під флюсами загального призначення. Експериментальне дослідження ймовірності невиконання вимог до пористості при зварюванні під флюсом дозволить визначити закономірності, необхідні для прогнозування рівнів дефектності в реальних умовах виробництва.

Постановка задачі

Поява пор є стохастичним процесом, який потребує застосування статистичних підходів до кількісної оцінки можливості їх появи та перевищення нормативно допустимих показників пористості. В ході експериментального дослідження ймовірності невиконання вимог до пористості необхідно забезпечити дозовану кількість пороутворюючого матеріалу, який подається в зону зварювання, визначити статистичні закони для опису змінюваності показників пористості швів та дослідити вплив пороутворюючого матеріалу на показники пористості зварних швів. Для практичного застосування результатів лабора-

торного дослідження пористості зварних швів необхідно визначити можливість екстраполяції даних експериментального дослідження пористості на умови реального виробництва.

Основна частина

Види та причини появи пор при дуговому зварюванні детально досліджені та класифіковані в роботі [1]. Залежно від пороутворюючого газу, розрізняють пори водневі, азотні та викликані монооксидом вуглецю (СО). Монооксид вуглецю утворюється в металі зварювальної ванни внаслідок реакції окислення. Появу таких пор попереджують введенням у зварювальну ванну достатньої кількості розкислювачів. Таким чином, правильний підбір основного металу, зварювального дроту та зварювального флюсу стабільно забезпечує достатнє розкислення металу зварювальної ванни і попереджує утворення СО – пор. Існуючий досвід використання комбінацій зварювальних матеріалів при зварюванні під флюсом фактично зводить до мінімуму появу СО – пор.

При дуговому зварюванні під флюсами загального призначення основним джерелом азоту в металі зварювальної ванни є повітря. Сучасні флюси загального призначення забезпечують стабільний захист металу зварювальної ванни від азоту з повітря за умови надійного захисту зони зварювання і не перевищення технологічно обґрунтованих значень падіння напруги на дузі та вильоту електродного дроту. Таким чином, візуальний контроль захищеності зварювальної дуги флюсом унеможливує потрапляння азоту в метал зварювальної ванни з повітря.

Відомі три основні джерела насичення металу зварювальної ванни воднем: забруднення електро-

дно дроту, забруднення поверхні та окрайків основного металу, волога флюсу. Ретельне зачищення електродного дроту та основного металу перед зварюванням та прокалювання флюсу забезпечують мінімальне надходження водню в метал зварювальної ванни. В реальних умовах виробництва об'єктивний контроль забруднень зварювальних матеріалів речовинами, що містять водень, ускладнений. Тому можна вважати, що причиною появи пор, за умови відсутності порушень технології зварювання, є водень. Наші подальші дослідження пов'язані з водневою пористістю.

Для експериментального дослідження водневої пористості при зварюванні під флюсом застосовують методику [2], за якою в пластині виконують повздовжні канавки, в які вводять дозовану кількість іржі і виконують наплавлення в досліджуваних умовах зварювання. В якості критерію стійкості процесу зварювання до утворення водневих пор приймають кількість іржі, яка приводить до появи пор.

Наведена методика має суттєві недоліки. По-перше, іржа, яка використовується в якості пороутворюючого матеріалу, являється комплексним з'єднанням $(Fe_2O_3)_n(H_2O)_m$ з непостійною кількістю m приєднаних молекул води і, отже, молярна маса водню, яка фактично вводиться в зону зварювання, змінюється при кожному експерименті. По-друге, разом з іржею в зону зварювання вводиться оксид заліза, який також є можливим джерелом появи CO – пор, що є додатковим неконтрольованим фактором утворення пор. По-третє, методика не базується на встановлених вимогах до пористості і не дає можливості кількісно оцінювати стійкість процесу зварювання до утворення пор.

Для подолання наведених недоліків нами запропонована методика оцінювання стійкості процесу зварювання до утворення пор [3], яка відрізняється від відомої тим, що в якості пороутворюючого матеріалу використовується дистильована вода, яка подається в зону зварювання у поліолефіновій трубці. В якості критерію стійкості процесу зварювання до утворення пор за експериментальними даними розподілу зареєстрованої кількості пор на одиничній ділянці та їх діаметра, розраховується ймовірність невиконання вимог до пористості, яка відповідає введений в зону зварювання кількості води. Використання в якості пороутворюючого матеріалу дистильованої води у поліолефіновій трубці заданого діаметру дозволяє чітко дозувати кількість введеного в зону зварювання водню (рис. 1).

В ході досліджень використовувався зразок, що імітує умови зварювання стикових з'єднань на підкладці. У верхній пластині розміром 320×210 мм виконувались пази завдовжки 210 мм з шириною, рівною зазору, встановленому для зварювання під флюсом стикових з'єднань. В експериментальних зразках для з'єднань С5 за ГОСТ 8713-79 ширина пазу

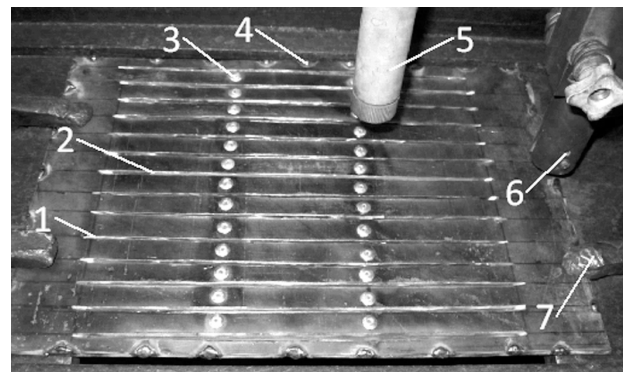


Рис. 1. Зразок для дослідження водневої пористості при зварюванні під флюсом: 1 – паз; 2 – поліолефінова трубка, заповнена дистильованою водою; 3 – заклепка; 4 – прихватка; 5 – система стеження за стиком; 6 – мундштук; 7 – притискач.

складала $1,5 \pm 1,0$ мм. Підкладка, що залишається, імітувалася пластиною розміром 320×210 мм, яка заклепками фіксувалася до пластини з пазами. Таким чином, в ході експерименту фактично зварювали стикові з'єднання, в зазор яких закладались поліолефінові трубки, заповнені дистильованою водою.

Розрізняють рівномірно розподілені пори та скупчення пор. Різноманітні скупчення водневих пор виникають внаслідок локальних забруднень основного металу і досить непогано усуваються забезпеченням чистоти зварюваних поверхонь. Сучасні технології дугового зварювання плавленням не гарантують повної відсутності у металі шва рівномірно розподілених водневих пор і тому стандарти встановлюють контрольовані показники пористості та регламентують допустимі значення цих показників. Експериментальне дослідження стійкості процесу зварювання до утворення пор за умовами формування зварного шва наближене до зварювання стикових з'єднань на пластинках. Тому у табл. 1 наведена вибірка міжнародних нормативних вимог до рівномірно розподілених пор при зварюванні плавленням стикових з'єднань.

З наведених даних можна зробити такі висновки. По-перше, основними регламентованими показниками пористості є діаметр та відносна сумарна площа пор. По-друге, регламентований максимально допустимий діаметр пор пропорційно залежить від товщини зварюваного металу. Так, наприклад, для оціночної групи D максимально допустимий діаметр внутрішніх рівномірно розподілених пор при зварюванні стикових з'єднань металу завтовшки 2,5 мм становить 1,0 мм, а для металу завтовшки 5,0 мм допускаються пори з діаметром не більше 2,0 мм. Таким чином, чим менше товщина зварюваного металу, тим складніше виконувати нормативні вимоги до пористості зварних швів.

Наші дослідження проводилися в найбільш жорстких умовах на товщині металу 2,5 мм. В якості базової технології обрана технологія зварювання

Таблиця 1.

Вимоги ISO 5817:2014 до пористості стикових зварних швів [4]

Індекс по ISO 6520-1	Контрольований показник пористості	Товщина зварюваного металу t, мм	Максимально допустимі значення для оціночних груп		
			D	C	B
Поверхневі пори					
2017	Діаметр поверхневої пори	0,5... 3,0	$d \leq 0,3S^*$	не допуск.	не допуск.
		> 3,0	$d \leq 0,3S^*$; але не більше 3 мм	$d \leq 0,2S^*$; але не більше 2 мм	не допуск.
Внутрішні рівномірно розподілені пори					
2012	Діаметр одиничної пори	$\geq 0,5$	$d \leq 0,4S^*$; але не більше 5 мм	$d \leq 0,3S^*$; але не більше 4 мм	$d \leq 0,2S^*$; але не більше 3 мм
	Максимальний розмір поверхні з дефектами (включаючи систематичні дефекти), віднесений до площі поверхні в проекції	$\geq 0,5$	Одношарові $\leq 2,5\%$ Багатошарові $\leq 2,5\%$	Одношарові $\leq 1,5\%$ Багатошарові $\leq 3,0\%$	Одношарові $\leq 1,0\%$ Багатошарові $\leq 2,0\%$

* s – номінальна товщина стикового шва (див. ISO 2553:2013).

повітряних резервуарів гальмівних систем вантажних вагонів. При виготовленні резервуарів виконують дугове зварювання під флюсом стикових з'єднань із сталі ВСтЗсп завтовшки 2,5 мм на підкладці, що залишається.

Під час експериментального дослідження стійкості до утворення пор виконувалось зварювання сти-

шалось по 35 мм на початку та в кінці для підпалу дуги та зварювання кратеру. Довжина поліолефінових трубок з водою складала 210 мм. Таким чином, загальна довжина зварного шва із введеною у трубки водою складала 210 мм, шов поділявся на сім одиничних ділянок завдовжки 30 мм кожна. В кожній з п'яти серій експериментів отримані дані стосовно

Таблиця 2.

Маса води, введеної на одиничну ділянку довжиною 30 мм

Серія №	1	2	3	4	5
Кількість та діаметр трубок, мм	1×0,6	1×0,8	1×1,0	2×0,8	3×0,8
Маса води, г	0,009	0,015	0,024	0,030	0,045

кових з'єднань на підкладці, що залишається, з розміщенням в зазорі поліолефінових трубок з дистильованою водою. Верхня пластина з пазами і нижня пластина, що імітує підкладку (рис. 1), виготовлені із сталі ВСтЗсп завтовшки 2,5 мм. Зварювання виконувалося електродним дротом Св-08А діаметром 2 мм під флюсом ОК Flux 10.71 на режимі: $I_{за} = 210-220A$, $U_{д} = 29-33B$, $V_{за} = 41,1$ м/год. Було проведено п'ять серій експериментів, кожна з яких відрзнялася кількістю води, введеною в зону зварювання. Для виявлення пор зварні шви розбивали на одиничні ділянки завдовжки 30 мм. Подальшу реєстрацію пор та обробку даних проводили для кожної одиничної ділянки окремо. У табл. 2 наведена кількість та діаметр поліолефінових трубок з водою та розрахункова маса води, яка вводилася під час експерименту в кожен одиничну ділянку зварного шва.

В кожній серії в незмінних умовах зварювалося по три шва завдовжки 280 мм кожний. На шві зали-

пористості зварних швів на 21 одиничній ділянці з однаковою кількістю введеної води (табл. 2).

На рис. 2 показані фото характерних одиничних ділянок зварних швів, отриманих для кожної серії експериментів.

З наведених фото можна зробити висновок, що із збільшенням кількості введеної у шов дистильованої води збільшується кількість пор, які з'являються на одиничній ділянці зварного шва. При цьому зварювання по поліолефіновій трубі без води не приводить до появи пор.

Зварювання тонких пластин і примусове введення води в зону зварювання приводить до виходу більшості пор на поверхню, що підтверджується результатами випробування швів на злам. На кожній з одиничних ділянок зварного шва візуальним оглядом виявляли поверхневі пори та визначали діапазон діаметрів, до якого вони відносяться. Результати візуального огляду наведені в табл. 3

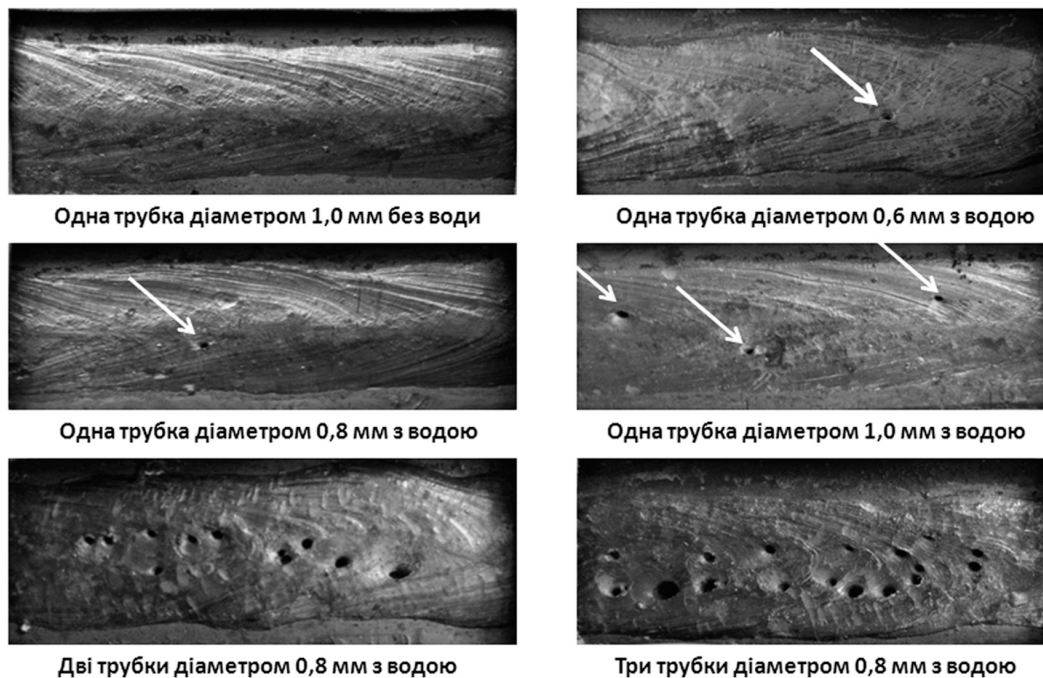


Рис. 2. Характерні одиничні ділянки швів при зварюванні по поліолефінових трубках з дистильованою водою.

Маса води, введеної на одиничну ділянку довжиною 30 мм

Таблиця 3.

Діапазон діаметрів пор, мм	Кількість пор, зареєстрованих на 21 одиничній ділянці зварного шва				
	Серія 1	Серія 2	Серія 3	Серія 4	Серія 5
0,0...0,5	4	6	19	78	83
0,6...1,0	6	11	35	151	174
1,1...1,5	0	0	6	28	63
1,6...2,0	0	0	0	0	2
2,1...2,5	0	0	0	0	0
2,6...3,0	0	0	0	0	0
Всього	10	17	60	257	322
Середній діаметр пор, мм	0,55	0,574	0,642	0,653	0,725

Результати реєстрації кількості пор на кожній одиничній ділянці зварних швів наведені у табл. 4.

Дані табл. 3 та 4 перенесені на рис. 3.

Отримані дані свідчать про суттєве розширення діапазонів розсіювання кількості пор на одиничній ділянці та збільшення середньої кількості пор на одиничній ділянці зварного шва при збільшеній кількості внесеної води. Внесення води значно менше розширює діапазон розсіювання діаметрів пор та несуттєво збільшує середні значення діаметрів пор по серіях. Таким чином, введення води у зону зварювання призводить до знач-

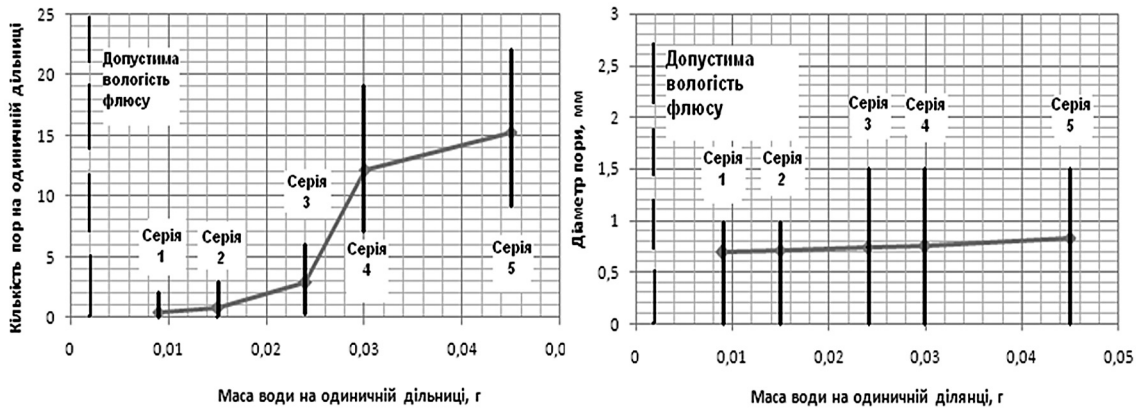
ного збільшення кількості пор і незначного збільшення діаметра пор.

Відомо [5–7], що розподіл діаметра пор відповідає закону Вейбулла, а розподіл кількості пор на одиничній ділянці зварного шва – закону Пуассона. За експериментальними даними табл. 3 та 4 визначені середня кількість пор на одиничній ділянці зварного шва як параметр Пуасонівського розподілу кількості пор на одиничній ділянці зварного шва та параметр масштабу a_d і параметр форми b_d Вейбулівського розподілу діаметрів пор. Результати наведені в табл. 5.

Таблиця 4.

Фактичний розподіл кількості пор на одиничній ділянці шва завдовжки 30 мм при зварюванні по поліолефінових трубках з дистильованою водою

Кількість пор на ділянці	Кількість одиничних ділянок									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8
Серія 1	13	6	2	0	0	0	0	0	0	0
Серія 2	9	8	3	1	0	0	0	0	0	0
Серія 3	1	3	5	5	4	2	1	0	0	0
Серія 4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Серія 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Кількість пор на ділянці	Кількість одиничних ділянок									
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	17
Серія 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Серія 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Серія 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Серія 4	2	2	3	3	2	2	2	1	1	1
Серія 5	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Кількість пор на ділянці	Кількість одиничних ділянок					Сумарна кількість ділянок		Середня кількість пор на ділянці		
	18	19	20	21	22					
Серія 1	0	0	0	0	0	21	0,476			
Серія 2	0	0	0	0	0	21	0,809			
Серія 3	0	0	0	0	0	21	2,857			
Серія 4	1	0	0	0	0	21	12,238			
Серія 5	2	1	1	1	1	21	15,333			



Серія 1 кількість від 0 до 2 пор на 30 мм (0,48)
 Серія 2 кількість від 0 до 3 пор на 30 мм (0,81)
 Серія 3 кількість від 0 до 6 пор на 30 мм (2,86)
 Серія 4 кількість від 8 до 19 пор на 30 мм (12,23)
 Серія 5 кількість від 9 до 22 пор на 30 мм (15,33)

Серія 1 діаметр від 0 до 1 мм (0,69)
 Серія 2 діаметр від 0 до 1 мм (0,71)
 Серія 3 діаметр від 0 до 1,5 мм (0,74)
 Серія 4 діаметр від 0 до 1,5 мм (0,75)
 Серія 5 діаметр від 0 до 1,5 мм (0,83)

Рис. 3. Залежність середньої кількості пор на одиничній ділянці та середнього діаметру пор у серії від кількості води внесеної у поліолефінових трубках.

При застосуванні закону Вейбулла для опису розподілу діаметрів пор значення критерію згоди Пірсона за даними табл. 5 не перевищують 1,5. При застосуванні закону Пуассона для опису розподілу кількості пор на одиничній ділянці зварного шва значення критерію згоди Пірсона за даними табл. 5

не перевищують 2,7. Це свідчить про узгодженість експериментальних даних, з розрахунковими за відповідними законами розподілу значень параметрів розподілів наведених у табл. 5 з достатньо високим рівнем значущості не менше як $\alpha = 0,1$. Такий результат підтверджує можливість використання закону

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НОВЫХ ПРОЦЕССОВ, МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ

Статистичні параметри розподілу кількості та діаметру пор при зварюванні по поліолефіновим трубкам з дистильованою водою

Серія	Діаметр трубки, мм	Маса води на ділянці 30 мм, г	Параметр розподілу Пуассона для кількості пор на ділянці 30 мм	Критерій Пірсона χ^2 для розподілу кількості пор	Параметри розподілу Вейбулла для діаметру пор		Критерій Пірсона χ^2 для розподілу діаметру пор
					a_d , мм	b_d	
1	0,6	0,009	0,476	0,215	0,69	3,159	0,357
2	0,8	0,015	0,809	0,076	0,71	2,657	0,129
3	1,0	0,024	2,857	0,254	0,74	2,626	0,098
4	2x0,8	0,03	12,238	0,918	0,75	2,610	0,269
5	3x0,8	0,045	15,333	1,259	0,83	2,465	1,375

Вейбулла до опису розподілу значень діаметрів пор та закону Пуассона для опису розподілу значень кількості пор на одиничній ділянці зварного шва.

Основним регламентованим показником пористості зварних швів є максимально допустимий діаметр пор d_{USL} (табл.1). Для невиконання на одиничній ділянці зварного шва вимог до діаметра пор необхідне одночасне настання двох подій. По-перше, пори мають з'явитися і, по-друге, діаметр пор має перевищувати нормативно встановлене значення максимально допустимого діаметра пор d_{USL} .

Ймовірність появи пор може бути розрахована за законом Пуассона як ймовірність того, що кількість пор на одиничній ділянці зварного шва не дорівнює нулю

$$P_{\text{появи}} = 1 - G(0; \mu) = 1 - e^{-\mu}, \quad (1)$$

де $G(0; \mu)$ – ймовірність того, що кількість пор на одиничній ділянці зварного шва дорівнює нулю; μ – параметр розподілу Пуассона – середня кількість пор на одиничній ділянці зварного шва, шт./30 мм.

Ймовірність перевищення діаметром пор нормативно встановленого значення максимально допустимого діаметру пор d_{USL} може бути знайдена за законом Вейбулла [6]

$$P(d \geq d_{USL}) = 1 - F(d_{USL}, a_d, b_d) = \exp \left[- \left(\frac{d_{USL}}{a_d} \right)^{b_d} \right], \quad (2)$$

де $F(d_{USL}, a_d, b_d)$ – функція розподілу Вейбулла для заданого граничного значення d_{USL} або ймовірність того, що діаметр пор не перевищує значення d_{USL} ; a_d – параметр масштабу Вейбулівського розподілу діаметру пор, мм; b_d – параметр форми Вейбулівського розподілу діаметру пор.

Ймовірність одночасного настання двох подій – появи пор та перевищення максимально допустимо-

го діаметру пори може бути знайдена за правилом множення ймовірностей

$$P_{\text{н/в}} = P_{\text{появи}} \times P(d \geq d_{USL}) = (1 - e^{-\mu}) \times \exp \left[- \left(\frac{d_{USL}}{a_d} \right)^{b_d} \right], \quad (3)$$

Стандартом ISO 5817:2014 встановлюється значення максимально допустимого діаметру пор d_{USL} в залежності від товщини зварюваного металу і необхідного рівня якості (табл. 1). В умовах експерименту всі отримані пори були зовнішніми, що пояснюється малою товщиною зварюваного металу і великою кількістю введеної в шов води. Це дозволяє розповсюдити результати експериментально дослідженої зовнішньої пористості на прогнозовану внутрішню пористість в реальних умовах зварювання. Для товщини металу 2,5 мм, в залежності від рівня якості, максимально допустимий діаметр внутрішніх пор становить 1,0 мм, 0,75 мм або 0,5 мм.

Результати розрахунків складових ймовірності невиконання вимог до діаметру пор за формулами (1)–(3) для параметрів статичного розподілу кількості та діаметру пор (табл. 5) зведені в табл. 6.

За даними табл. 6 проведено аналіз кореляції між ймовірністю появи пор на одиничній ділянці, ймовірностями перевищення нормативно допустимих значень діаметру пор та масою введеної в зону зварювання води, яка привела до утворення водневих пор. Результати приведено на рис. 4.

За методом найменших квадратів з достатньо високими значеннями коефіцієнтів детермінації R^2 отримана $y(x)$ лінійна кореляція між x – масою води, введеної на одиничну ділянку шва та відповідними значеннями y – ймовірності появи та перевищення допустимого діаметру пор.

Наявність лінійної кореляції дозволяє екстраполювати отримані дані на умови реального виробництва, коли вода вноситься у зону зварювання не у трубках, а з вологою флюсу. В перерахунку допустимої вологості флюсу 0,1% на масу шлакової корки, максимально допустима маса води, яка на експери-

Таблиця 6.

Ймовірність появи пор на одиничній ділянці та перевищення допустимого діаметру пор при зварюванні по поліолефіновим трубкам з дистильованою водою

Серія	Діаметр трубки з водою, мм	Маса води на ділянці 30 мм, г	Розрахункове значення ймовірності			
			Появи пори, на одиничній ділянці	Перевищення діаметру пор, мм		
				1,0	0,75	0,5
1	0,6	0,009	0,381	0,040	0,272	0,697
2	0,8	0,015	0,555	0,083	0,315	0,674
3	1,0	0,024	0,943	0,110	0,355	0,699
4	2×0,8	0,03	1,000	0,120	0,368	0,707
5	3×0,8	0,045	1,000	0,205	0,459	0,751

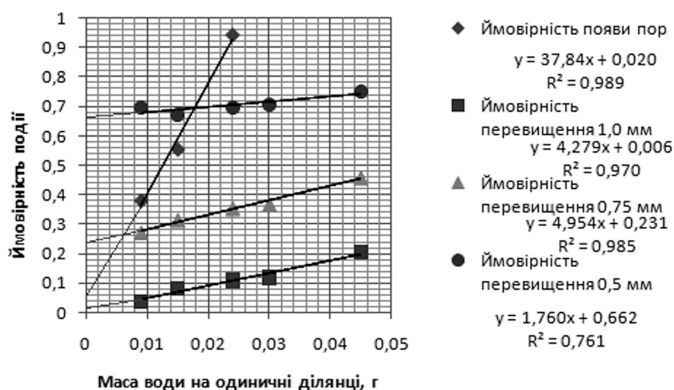


Рис. 4. Кореляційні залежності між ймовірностями появи та перевищення діаметру пор 1,0 мм, 0,75 мм, 0,5 мм на одиничній ділянці і масою води, введеною на одиничну ділянку зварного шва.

Flux 10.71 на режимі: $I_{зв} = 210-220A$, $U_d = 29-33B$, $V_{зв} = 41,1$ м/год стикових з'єднань із сталі ВСтЗсп завтовшки 2,5 мм прогнозований рівень дефектності по діаметру пор для рівня якості D складає 0,1%, для рівня якості В – 2,3%, для рівня якості С – 6,4%. Наведений прогноз стосується невиконання вимог до рівномірно розподілених пор. Скупчення пор виникають в місцях локальних забруднень, тому прогнозування рівнів дефектності по скупченнях пор потребує інших підходів. Варто зазначити, що прогноз виконувався для найбільш жорстких вимог до пористості зварних швів, що має місце при мінімально можливих при дуговому зварюванні під флюсом товщин металу.

Таблиця 7.

Прогнозована ймовірність появи пор на одиничній ділянці та перевищення допустимого діаметру пор при допустимій вологості флюсу 0,1% мас. (0,002 г на 30 мм одиничної ділянки зварного шва)

Прогнозоване значення ймовірності	Рівень якості за ISO 5817:2014		
	Рівень якості D $d_{USL} = 1,0$ мм	Рівень якості C $d_{USL} = 0,75$ мм	Рівень якості B $d_{USL} = 0,5$ мм
Поява пор на одиничній ділянці, %	9,6		
Перевищення максимально допустимого діаметру, %	1,5	24,1	66,6
Невиконання вимог до діаметру пор, %	0,1	2,3	6,4

ментальних режимах вноситься на 30 мм зварного шва, складає 2 мг.

Результати розрахунків прогнозованої ймовірності появи пор на одиничній ділянці зварного шва, прогнозованої ймовірності перевищення діаметру пор 1,0 мм, 0,75 мм, 0,5 мм та відповідної ймовірності невиконання вимог до діаметру пор за рівнями якості D, C, B стандарту ISO 5817:2014 (табл. 1) зведені у табл. 7.

Таким чином, при зварюванні електродним дротом Св-08А діаметром 2 мм під флюсом ОК

За даними табл. 3 для кожної одиничної ділянки зварного шва розрахована відносна сумарна площа пор та оцінена ймовірність невиконання вимог ISO 5817:2014 як відносна доля одиничних ділянок, на яких перевищено відповідне нормативно допустиме значення відносної сумарної площі пор. Результати оцінки зведені у табл. 8

З наведених даних видно, що перевищення нормативно допустимих значень відносної сумарної площі пор спостерігаються тільки у 4 та 5 серіях, тобто при п'ятнадцяти кратному перевищенні



Оціночне значення ймовірності перевищення допустимої відносної сумарної площі пор при зварюванні по поліолефінових трубках з дистильованою водою

Серія	Діаметр трубки, мм	Маса води на ділянці 30 мм, г	Ймовірність перевищення допустимої по ISO 5817:2014 відносної сумарної площі пор		
			рівень В 1,0%	рівень С 1,5%	рівень D 2,5%
1	0,6	0,009	0	0	0
2	0,8	0,015	0	0	0
3	1,0	0,024	0	0	0
4	2x0,8	0,03	0,905	0,524	0,143
5	3x0,8	0,045	1,000	0,952	0,571

допустимої вологості флюсу. Можна вважати, що в реальних виробничих умовах зварювання за дослідженою технологією можливість перевищення допустимої відносної сумарної площі рівномірно розподілених пор практично виключена. Невиконання вимог до пористості зварного шва може бути тільки за рахунок перевищення максимально допустимого діаметра пор.

Прогнозовані значення ймовірності невиконання вимог до пористості зварних швів (табл. 7) близькі до отриманих рівнів дефектності по пористості зварних швів у реальному виробництві повітряних резервуарів гальмівних систем вантажних вагонів. Експериментальне прогнозування ймовірності невиконання вимог до пористості зварних швів може бути використане для прийняття рішення про відповідність розробленої технології на етапі підготовки виробництва, прогнозування очікуваних у виробництві рівнів дефектності, що є актуальною задачею у сучасних системах управління якістю, для визначення мінімально необхідних для виробничого контролю пористості зварних швів об'ємів вибірок [8], для зниження ризиків, викликаних невиконанням вимог до пористості зварних швів.

Висновки

1. При зварюванні під флюсом із збільшенням кількості води, введеної в зону зварювання, суттєво збільшується середня кількість пор на одиничній ділянці зварного шва і несуттєво збільшується їх середній діаметр.

2. Підтверджено, що кількість пор на одиничній ділянці зварного шва розподіляється за законом Пуассона, а їх діаметр – за законом Вейбулла.

3. Лінійність залежності ймовірності появи пор (долі одиничних ділянок з порами) та ймовірності перевищення допустимого діаметру пор (долі пор які мають діаметр більший допустимого) дозволяє проводити екстраполяцію експериментальних результатів на реальні умови зварювального виробництва, при яких кількість введеної в зону зварювання води визначається допустимою вологістю флюсу.

Література

- [1] Causes for Weld Defects, IAW Doc. XII-B-046-83, International Institute of Welding, 1983.
- [2] Подгаецкий В. В., Люборец И. И. Сварочные флюсы. – К.: Техника, 1984. – 165с.
- [3] Заявка на деклараційний патент на корисну модель U2014 03632 від 04.04 2014
- [4] ISO 5817:2014 Welding – Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) – Quality levels for imperfections
- [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. – М.: Машиностроение, 1976. – 64с.
- [7] Бурнашев А. В., Большаков А. М. Эксплуатационная надежность конструкций севера. // <http://rudocs.exdat.com/docs/index-370719.html>
- [8] Гаевский В. О., Прохоренко В. М. Расчёт минимально необходимого объема выборки для контроля пористости сварных швов // Технологические системы. – 2013. – № 4(65). – С. 55–61.

Prokhorenko V.M., Gaievskiy V.O.

National technical university of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute». Ukraine, Kyiv

PROBABILITY OF NON-FULFILLMENT OF REQUIREMENTS TO POROSITY OF GUY-SUTURES AT SUBMERGED-ARC WELDING

Influence on the indexes of porosity of the weld-fabricated guy-sutures of introduction is experimentally investigational to the area of welding of the distilled water. It is confirmed that the amount of pores on the single area of the weld-fabricated guy-sutures is distributed by law of Puassona, and their diameter by law Veybulla. Possibility of extrapolation is rotined on the production terms of experimental information, got at laboratory research of hydrogen porosity.

Keywords: submerged-arc welding; implementation of requirements to porosity; amount of pores; diameter of pores

References

- [1] Causes for Weld Defects, IIW Doc. XII-B-046-83, International Institute of Welding, 1983.
- [2] Podgaetskiy V. V., LyuboretS I. I. Welding gumboils. — K.: of Technician, 1984. — 165 p.
- [3] Request on a declarative patent on the useful model of U2014 03632 from 04.04 2014
- [4] ISO 5817:2014 Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections
- [5] Probabilistic risk-analysis of constructions of the technical systems / A. M.Lepikhin, N. A. Makhutov, V. V. Moskvichev, A. P. Chernyaev: Novosibirsk; Science, 2003. — 174 p.
- [6] Volchenko V. N. Statisticheskie methods of quality management on results non-destructive control. — M.: Engineer, 1976. — 64 p.
- [7] Burnashev A. V., Bol'shakov A. M. Operating reliability of constructions of north. // <http://rudocs.exdat.com/docs/index-370719.html>
- [8] Gaievskiy V. O., Prokhorenko V. M. Calculation minimum necessary sample size for control of porosity of the weld-fabricated guy-sutures // Technological systems. — 2013. — 4(65). — P. 55–61.