

РІВНІ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТА ДОПУСТИМИ ДЕФЕКТИ У ЗВАРНИХ ШВАХ

В.О. Троїцький

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Українське товариство УТ НКТД видало та розповсюджує міжнародний стандарт ISO 5817, що стосується трьох рівнів якості зварних з'єднань D, C, B, який застосовують усі провідні країни світу з 2003 р. при взаємних поставках зварних металоконструкцій. В Росії він діє з 2009 р. З 2019 р. усі металоконструкції, що виготовлені в Україні дуговими методами зварювання, повинні відповідати стандарту СТТУ УТ НКТД ISO 5817-2019 «Зварні з'єднання зі сталі, нікелю, титану та їх сплавів, отримані зварюванням плавленням», рівні якості (ISO 5817:2014, IDT), Київ, 2019. Цей стандарт – тотожний переклад ISO 5817:2014 «Welding Fusion – welded joints in steel, titanium and their alloys – Quality level for imperfections», прийнятий як ДСТУ ISO 5817:2016 методом підтвердження. В статті пояснюється важливість даного стандарту, наводиться коротка таблиця з допустимими розмірами дефектів поверхні для рівнів D, C, B. Стандарт СТТУ УТ НКТД ISO 5817-2019 повністю приводиться на сайті УТ НКТД www.usndt.com.ua. Бібліогр. 6, табл. 1.

Ключові слова: рівень якості, зварні з'єднання, взаємні поставки, стандарт, дугові види зварювання, крихкі руйнування, напруження, пори, підріз, корінь шва, тріщина, кромка, натік

При проектуванні зварних конструкцій обирають матеріал, ґрунтуючись на його міцнісних характеристиках та зварюємості. Міцнісні характеристики визначаються для бездефектних конструкцій при статичному та циклічному навантаженнях. Однак часто відбуваються крихкі руйнування через внутрішні напруження, причинами яких є дефекти зварних з'єднань.

Природна поява та ймовірний розподіл дефектів, які характерні для усіх типів металу та зварювання, мають бути враховані під час проектування конструкцій.

Прагнення домогтися «абсолютної бездефектності» конструкції часто погіршує її експлуатаційні властивості, оскільки ремонти з метою усунення дефектів призводять до виникнення додаткових локальних напружень та руйнування конструкції. Тому введено поняття рівня якості [1].

При призначенні рівнів якості, розмірів можливих дефектів встановлюють декілька рівнів якості зварного з'єднання та виробу в цілому [1, 2].

Правильний, диференційний підхід [3, 4] до оцінки якості зварних конструкцій повинен ґрунтуватися на економічних й міцнісних розрахунках з визначенням реальної несучої здатності конструкції. Визначення механічних властивостей основного металу, зварного шва та біляшовної зони виконують на спеціально виготовлених зразках при відпрацьовуванні технології. Однак аналіз руйнувань зварних конструкцій показує, що багато з них виникають по околешовній зоні, а не по зварному шву, що цілком зрозуміло [5, 6].

Найпоширенішим типом дефектів при дуговому зварюванні є пори. У швах стикових з'єднань з низьковуглецевих й аустенітних сталей кількість окремих

пор невелика. Їх число, вигляд і характер розподілу залежать від виду зварювання й рівня виробництва.

При змінних навантаженнях концентрація напруг має вирішальне значення. Вважається, що якщо коефіцієнт концентрації напруг [3, 5] від валика посилення вище, ніж від пор, то помірна пористість (до 4 %) не погіршує несучої здатності. При видаленні валика посилення шва навіть невеликі пори різко знижують витривалість зварних з'єднань. У більшості зварних конструкцій зберігаються валики посилення швів. Часто переважний вплив на концентрацію напруги має форма шва, а конструкція руйнується на границі переходу валика посилення до основного металу. Цей перехід повинен бути плавним.

Шлакові вclusions у порівнянні з порами у значно меншій мірі знижує втомлювальну міцність. Їх вплив займає проміжне положення між окисними плівками та вольфрамовими вclusionsми. Як і шлакові вclusions, міцність швів знижує окисні плівки, вclusions нітридів, сульфідів, легкоплавких евтектик. Найчастіше подібні дефекти виникають при зварюванні алюмінієвих сплавів.

Поширеним дефектом зварювання є непровар [3], який зменшує перетин шва та є концентратором напруг. Вплив непровара визначається різницею у міцності металу шва й основного металу. Непровари утворюються при забрудненні кромки, неправильної їх підготовці, нестійкому режимі зварювання. Часто навіть при відносно великих непроварах руйнування відбувається не по шву, оскільки непровар компенсується підсиленням шва.

Непровари у центрі V-образних швів значно небезпечні, ніж в X-образних швах при двосторонньому зварюванні, наприклад, несучільності шва глибиною приблизно 25 % при X-образній

обробці та двосторонньому зварюванні не знижують статичну міцність зварного з'єднання з валиком підсилення. Однак при цьому різко знижуються пластичні властивості з'єднання.

Для того, щоб відбулося руйнування, необхідна спільна дія трьох факторів: розтяжних напружень, дефектів з гострими гранями й мікроструктури, що схильна до утворення тріщин. Для виключення крихкого руйнування достатньо виключити один з вказаних факторів. Для запобігання крихкого руйнування необхідно правильно обрати марку металу, який гальмував би розвиток дефекту. Так, тріщина, що з'явилася в області мартенситної структури, гальмується під час переходу до зони пластичного фериту, що має різностні зерна. При цьому тріщина, що розвивається в області зварного шва, як і непровар, не повинна досягати деяких критичних розмірів, перевищення яких створює напруження, що руйнують метал. Усі перераховані особливості зварних швів, що утворені дуговими видами зварювання, у концентрованому вигляді об'єднані [1, 6] в стандарт ISO 5817-2009, що встановлює категорії якості швів, які повинні знати всі зварювальники та усі дефектоскопісти. Стандарт ISO 5817 встановлює рівні якості зварних з'єднань, що утворені усіма видами зварювання плавленням. В ньому вказані припустимі розміри дефектів для зварювання усіх видів сталей, нікелю, титана та їх сплавів, які повинні бути виявлені та оцінені. Усі зварні шви металоконструкцій повинні відповідати вказаним у документації рівням якості D, C, B. Перевищення розмірів дефектів, вказаних для категорії D, потребують ремонту конструкції. Перевищення розмірів дефектів в категорії C призводять зазвичай до зниження вартості виробу.

Рівні якості для зварних з'єднань, що отримані променевим способом зварювання, представлені в іншому стандарті ISO 13919-1.

У міжнародному стандарті ISO 5817 встановлюється три рівні якості, які позначені символами B, C та D. Рівень B (best) відповідає найбільш високим вимогам до якості зварних швів. Рівень C (середній) і D припустимі для менш відповідальних виробів.

Походженню дефектів, їх допустимості, впливу на якість зварних швів присвячені такі наступні міжнародні стандарти:

ISO 2553 «Соединения сварные и паяные твердым и мягким припоем. Условные обозначения на чертежах»; ISO 4063 «Сварка. Перечень и условное обозначение процессов»; ISO 6520-1:1998 «Сварка. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах», Часть 1; ISO 13919-1. «Сварка. Сварные соединения, полученные электронно-лучевой и лазерной сваркой».

Стандарт ISO 5817 є одним з основних у системі забезпечення контрольованої якості на вироб-

ництві зварних конструкцій. В ньому викладені як граничні дефекти, так і принципи категорій якості. При оцінці якості, при підсумовуванні множинних дефектів треба враховувати, що окремі дефекти на зображеннях можуть взаємно накладатися. У цьому випадку підсумовування усіх допустимих дефектів повинно бути обмежено величинами, що вказані для різних дефектів окремо.

На основі цього стандарту створено багато нормативних документів, наприклад, каталог «Справочные рентгенограммы для оценки дефектов сварных швов в соответствии со стандартом ISO 5817», який опублікований Міжнародним інститутом зварювання – (IIW), Deutscher Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren, Dusseldorf та інші документи.

В таблиці зроблено короткий випис зі стандарту ISO 5817 для використання при розробці креслень і/або інших стандартів. Повністю стандарт є на сайті Українського товариства НКД. В таблиці наводиться спрощений набір та назви дефектів дугового зварювання, котрі описані в більш ранньому стандарті ISO 6520-1. Свої рівні якості для різних типів швів у кожній конструкції вказуються у технічній документації. Тільки за умов такої організації зварювального виробництва у розвинених країнах забезпечується висока якість металоконструкцій. Стандарт ISO-5817 в цих країнах застосовується з 2003 р., в Росії – з 2011. Час застосувати ISO-5817 і в Україні.


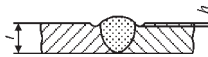
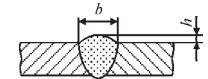
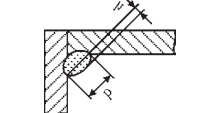
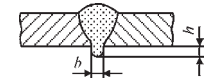
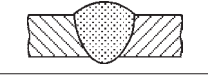

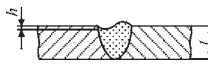
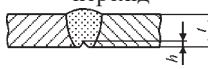
Далеко не всі шви повинні бути категорії B – це важко здійснити. Вибір рівня якості повинен враховувати експлуатацію, проектування, наступну обробку (наприклад, покриття), режим впливу навантажень (наприклад, статичний, динамічний), умови експлуатації (наприклад, температура, навколишнє середовище) й наслідки відмови. Економічні фактори повинні включати не тільки вартість зварювання, але й вартість огляду, випробувань та ремонту, які можуть бути дорожчі, ніж сам процес зварювання.

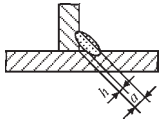
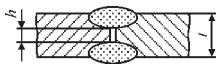
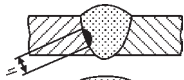
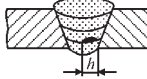

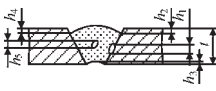
Стандарт ISO 5817 не торкається процесів дефектоскопії, металургійних питань (розмірів зерна, твердості та ін.), можливостей неруйнівного контролю, прийомів та методів, що використовуються для виявлення дефектів. Відомий стандарт ISO 17635, який містить взаємодію між рівнем прийомки для різних неруйнівних методів контролю.

Стандарт ISO 5817 легко застосовувати для автоматизованого [5] візуального огляду зварних швів, який повинен виконуватися перед усіма іншими видами контролю, такими як магнітні, вихрострумові, ультразвукові, рентгенографічні й проникаючими речовинами.

Виконання вимог допустимості, усунення дрібних дефектів, що встановлені в рівні якості B, можуть включати додаткові виробничі процеси,

Короткий випис зі стандарту ISO 5817-2009 про розміри (мм) недопустимих дефектів за рівнями якості D, C, B зварних з'єднань, перевищення яких переводить якість B → C → D → ремонт → утилізація

Номер пункту	Позначення за ISO 6520:1-1998	Вид дефекту	Пояснення	Товщина, t , мм	Обмеження на дефекти для різних рівнів якості		
					D	C	B
1	2	3	4	5	6	7	8
1.1	100	Тріщина		$\geq 0,5$	Не допускаються		
1.3	2017	Поверхнева пора	Максимальний розмір одиничної пори	Від 0,5 до 3	$d \leq 0,3s$	Не допускаються	
				> 3	$d \leq 0,3s$, але не більш 3	$d \leq 0,2s$, але не більш 2	Не допускаються
1.4	2025	Кратерна раковина у кінці шва		Від 0,5 до 3	$h \leq 0,2t$	Не допускаються	
					$h \leq 0,2t$	$h \leq 0,1t$	«-»
1.7	5011	Безперервний підріз		Від 0,5 до 3	Короткі дефекти: $h \leq 0,2t$	Короткі дефекти: $h \leq 0,1t$	«-»
	5012	Переривчастий підріз		> 3	$h \leq 0,2t$, але не більш 0,5	$h \leq 0,1t$, але не більш 0,5	$h \leq 0,05t$, але не більш 0,5
1.9	502	Випуклість шва		$\geq 0,5$	$h \leq 0,1 + 0,25b$, але не більш 10	$h \leq 0,1 + 0,25b$, але не більш 7	$h \leq 0,1 + 0,25b$, але не більш 5
1.10	503	Випуклість кутového шва		$\geq 0,5$	$h \leq 1 + 0,25b$, але не більш 5	$h \leq 1 + 0,15b$, але не більш 4	$h \leq 0,1 + 0,1b$, але не більш 3
1.11	504	Випуклість зі сторони кореня шва		Від 0,5 до 3	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,6b$	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,35b$	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,1b$
1.12	505	Неправильна геометрія кромки шва			$\alpha \leq 90^\circ$	$\alpha \leq 100^\circ$	$\alpha \leq 110^\circ$
1.13	506	Натік			$h \leq 0,2b$	Не допускаються	
1.14	509 511	Протікання Неповне заплавлення кромки	Потрібен плавний перехід 	Від 0,5 до 3	Короткі дефекти: $h \leq 0,25t$	Короткі дефекти: $h \leq 0,1t$	Не допускаються
				> 3	Короткі дефекти: $h \leq 0,25t$, але не більш 2	Короткі дефекти: $h \leq 0,25t$, але не більш 1	Короткі дефекти: $h \leq 0,25t$, але не більш 0,5
1.17	515	Увігнутість зворотної сторони шва	Потрібен плавний перехід 	Від 0,5 до 3	$h \leq 0,2 \text{ мм} + 0,1t$	Короткі дефекти: $h \leq 0,21t$	Не допускаються
				> 3	$h \leq 0,2t$, але не більш 1,5	$h \leq 0,1t$, але не більш 1	$h \leq 0,05t$, але не більш 0,5
1.18	516	Пористість у корені шва	Пориста структура у корені зварного шва	$\geq 0,5$	Допускається локально	Не допускається	
2.1	100	Тріщини внутрішні	Усі типи тріщин, крім мікротріщин і кратерних тріщин	$\geq 0,5$	Не допускається		
2.3	2012	Розподілена пористість	Максимальний розмір дефектної області по відношенню до площі проекції	$\geq 0,5$	Для одного шару: $\leq 2,5\%$. Для декількох шарів: $\leq 3\%$	Для одного шару: $\leq 1,5\%$. Для декількох шарів: $\leq 3\%$	Для одного шару: $\leq 2,5\%$. Для декількох шарів: $\leq 1\%$
			Максимальний розмір одиничної пори для: - стикових зварних швів; - куткових зварних швів		$d \leq 0,4s$, але не більш 5 $d \leq 0,4a$, але не більш 5	$d \leq 0,3s$, але не більш 4 $d \leq 0,3a$, але не більш 4	$d \leq 0,2s$, але не більш 3 $d \leq 0,2a$, але не більш 3

1	2	3	4	5	6	7	8
2.5	2014	Лінійна пористість	Максимальний розмір площі	≥ 0,5	≤ 8 %	≤ 4 %	≤ 2%
			Максимальний розмір одиної пори для: - стикових зварних швів - кутових зварних швів		$d \leq 0,4s$, але не більш 4 $d \leq 0,4a$, але не більш 4	$d \leq 0,3s$, але не більш 4 $d \leq 0,3a$, але не більш 3	$d \leq 0,2s$, але не більш 2 $d \leq 0,2a$, але не більш 2
2.13	402	Неповне проплавлення		≥ 0,5	$h \leq 0,2a$, але не більш 4	Не допускаються	
						«-»	
2.11	3042	Включення міді	-	≥ 0,5	Не допускаються		
2.12	401 4011 4012 4013	Несплавлення Несплавлення з кромкою Несплавлення між шарами Несплавлення у корені шва		≥ 0,5	$h \leq 0,2s$, але не більш 4 $h \leq 0,2a$, але не більш 4	Не допускаються	
							
3.2	617	Зазор у корені шва для кутових зварних швів		Від 0,5 до 3	$h \leq 0,5 + 0,1a$	$h \leq 0,3 + 0,1a$	$h \leq 0,2 + 0,1a$
				>3	$h \leq 1 + 0,3a$, але не більш 4	$h \leq 0,5 + 0,2a$, але не більш 4	$h \leq 0,5 + 0,1a$, але не більш 4
4.1	Немає	Множинні дефекти		Від 0,5 до 3	Не допускаються		
				>3	Максимум загальної висоти дефектів $\Sigma h \leq 0,4t$ або $\leq 0,25a$	Максимум загальної висоти дефектів $\Sigma h \leq 0,3t$ або $\leq 0,2a$	Максимум загальної висоти дефектів $\Sigma h \leq 0,2t$ або $\leq 0,15a$

наприклад, шліфування, дугову обробку у середовищі інертного газу і т.п., за допомогою яких виявляють внутрішні дефекти по цьому стандарту.

Дотримання норм по дефектності стандарту СТТУ УТНКТД (ГОСТ) 5817 потребує різного рівня витрат на дефектоскопію, на усунення дефектів, тому у технічній документації високі рівні якості С і В повинні бути мотивовані міцністними, соціальними й економічними розрахунками. Забезпечення рівня якості D також потребує не малих зусиль для підприємств, які починають виробляти зварні металоконструкції. Єдиний шлях вітчизняних зварних з'єднань на міжнародний ринок – це освоєння рівнів якості ISO-5817.

Виводи

Дугові види зварювання остаються основними видами технології виготовлення різних металоконструкцій як цивільного, так і воєнного виробництва. Для чіткості взаємних розрахунків, що враховують якість продукції, що поставляється, усі країни притримуються стандарту ISO 5817, який встановлює три рівні якості зварних з'єднань D, C, B. Зварні шви без дефектів не бувають. Якість,

розміри й розташування різних несучільностей та сторонніх включень нормуються цим стандартом. Рівень якості B (best) потребує устояного виробництва, високої якості й професіоналізму виконавців. Найчастіше конструкції відповідають рівням C і D. Ремонти зварних швів зазвичай виконуються, якщо рівень якості нижче рівня D. Досягнутий рівень якості відображається у вартості та об'ємах виконаної дефектоскопії. В стандарті ISO 5817 окремо нормуються зовнішні і внутрішні несучільності та включення. Для визначення якості потрібне застосування повного дефектоскопічного обстеження. З застосуванням рухомих опто-електронних перетворювачів [6] легко встановлюється рівень якості конструкції за дефектами її поверхні, а також зони можливого розташування внутрішніх дефектів.

Список літератури

1. СТТУ УТНКТД (ГОСТ Р) ISO-5817-2019. *Сварка. Сварні з'єднання з сталі, нікеля, титана і їх сплавів, отримані методом плавлення. Рівні якості.*
2. Патон Б.Е., Троицкий В.А. (2008) *Развитие неразрушающего контроля ответственных металлоконструкций.* НАН України. Б.Є. Патон. Вибрані праці, сс. 582-594.
3. Троицкий В.А., Бобров В.Т и др. (1986) *Неразрушающий контроль качества сварных конструкций.* Киев, Техника.

4. (2009) *Дефектоскопія XXI века*. Троицкий В.А. (ред.). Киев.
5. Троицкий В.А. (2021) *Введение в профессию «Технологии и оборудование неразрушающего контроля качества»*. Киев, Интерсервис.
6. Троицкий В.А., Литвиненко В.А. (2019) Устройства для быстрого и точного визуального контроля протяженных металлоконструкций. *Сварщик*, 4, 38–40

References

1. STTU UTNKTD (GOST R) ISO-5817-2019: *Welding. Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys. Quality levels* [in Russian].

2. Paton, B.E., Troitskiy, V.A. (2008) *Development of nondestructive testing of critical metal structures*. Ed. by B.E. Paton. Selected works, 582-594 [in Russian].
3. Troitskiy, V.A., Bobrov, V.T. et al. (1986) *Nondestructive testing of quality of welded structures*. Kiev, Tekhnika [in Russian].
4. (2009) *Flaw detection in 21st century*. Ed. by V.A. Troitskiy. Kiev [in Russian].
5. Troitskiy, V.A. (2021) *Introduction to the profession of «Technology and equipment for nondestructive testing»*. Kiev, Interservice [in Russian].
6. Troitskiy, V.A., Litvinenko, V.A. (2019) Devices for fast and accurate visual inspection of extended metal structures. *Svarshchik*, 4, 38–40 [in Russian].

QUALITY LEVELS OF WELDED JOINTS AND ADMISSIBLE DEFECTS IN WELDS

V.O. Troitskiy

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150 Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

Ukrainian Society USNDT issued and is disseminating International Standard ISO 5817, concerning three levels D, C, B of welded joint quality, which has been applied by all the leading countries of the world since 2003 at mutual deliveries of welded metal structures. In Russia it is valid since 2009 p. Starting from 2019 all the metal structures made in Ukraine by arc welding methods should comply with STSU USNDT ISO 5817-2019 standard «Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys, quality levels (ISO 5817:2014, IDT) Kyiv, 2019. This standard is an identical translation of ISO 5817:2014 «Welding. Fusion – welded joints in steel, titanium and their alloys – Quality level for imperfections», adopted as DSTU ISO 5817:2016 by confirmation method. The paper explains the importance of this standard, and gives a short table with admissible dimensions of surface defects for levels D, C, B. STSU USNDT ISO 5817-2019 standard is presented completely in USNDT site: www.usndt.com.ua. 6 Ref., 1 Tabl.

Keywords: quality level, welded joints, mutual deliveries, standard, arc welding methods, brittle fractures, stresses, pores, undercuts, weld root, crack, edge, overlap

Надійшла до редакції 15.04.2021

ЖУРНАЛИ для професіоналів



Видається з 1948 р.
Виходить 12 разів на рік
ISSN 0005-111X
doi.org/10.37434/as
Передплатний індекс 70031



Видається з 2000 р.
Виходить 12 разів на рік
ISSN 0957-798X
doi.org/10.37434/tpwj
Передплатний індекс 21791



Видається з 1989 р.
Виходить 4 рази на рік
ISSN 0235-3474
doi.org/10.37434/tdnk
Передплатний індекс 74475



Видається з 1985 р.
Виходить 4 рази на рік
ISSN 2415-8445
doi.org/10.37434/sem
Передплатний індекс 70693

Журнали входять до Переліку наукових фахових видань України

(380-44) 200-8277
journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com