

DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.14.1.62-68>

УДК 667.613.3

**В.В. Бачинський**, к.т.н., с.н.с<https://orcid.org/0000-0003-2187-8616>**О.І. Кондратенко****В.С. Кондратенко****Т.В. Жарун****О.М. Соколовський***Військова академія (м. Одеса), Україна*

## КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАННЯ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

*У статті виявлені проблеми, що виникають при контролі якості зварювання в польових умовах. Проведена оцінка основних дефектів зварювання в польових умовах і зроблений аналіз способів виявлення їх за допомогою контролю якості зварювання. Досліджені показники якості зварювання деталей, найбільш розповсюджені дефекти зварювання та причини їх виникнення. Проведено порівняльний аналіз методів візуального контролю і ультразвукового контролю якості зварювання в польових умовах на тріщині і звареному шві на зразку ОВТ. Встановлено, що залежно від відповідальності і якості звареної конструкції для неї можна обчислити коефіцієнт ознаки якості, що надасть можливість для будь-якого зварного з'єднання дати цифрову оцінку контролю якості.*

**Ключові слова:** *якість зварних з'єднань, дефекти, контроль якості.*

### Постановка проблеми

Велика насиченість військ новими, більш складними зразками озброєння і техніки, важкі умови їх експлуатації ставлять перед військовими інженерами ряд нових технічних і економічних проблем, пов'язаних з відновленням бойової техніки і озброєння, особливо в польових умовах.

Система ремонту в польових умовах повинна забезпечити повне охоплення всіх несправних машин, високі показники якості надійності відремонтованої техніки, відновлення їх працездатності в задані оперативно-тактичні терміни.

Втрати бойового потенціалу з озброєння і техніки можна відновлювати звичайно не тільки за допомогою ремонту, але і за рахунок отримання нових зразків замість тих, що вибувають з ладу. Однак ефективність цього напрямку відновлення бойового потенціалу військ не рівнозначна.

Швидкий і якісний ремонт ОВТ в польових умовах буде визначальним в сучасному бої. Таким чином, контроль якості зварювання ОВТ в польових умовах буде основним критерієм при визначенні ступеня готовності ОВТ до застосування за призначенням, після ремонту в польових умовах.

### Аналіз останніх досягнень і публікацій

Аналіз аварій і поломок на зразках ОВТ показує [1], що їх причиною досить часто є тріщино подібні дефекти, які отримали розвиток в процесі їх експлуатації. Проведені дослідження показали [2], що з кожних 100 вибувають з ладу одиниць озброєння і техніки в середньому 70 одиниць вимагають для свого відновлення в 15-20 разів менше зусиль, ніж виготовлення нових.

Безпека практично всіх існуючих зразків ОВТ багато в чому залежить від якості виконання зварних металевих з'єднань і швів, які використовуються в різних функціональних конструкціях. Для цих цілей застосовуються різноманітні діагностичні методи, мета яких виявити дефекти в цих місцях, так як вони при експлуатації об'єкта можуть призвести до негативних наслідків [3].

Найбільшу небезпеку для технічного стану зразків ОВТ мають дефекти зварних з'єднань [4]. Їх виникнення і розвиток зумовлений структурно-механічної та електрохімічної неоднорідністю цих зварних з'єднань, наявністю в них мікрodefektів і залишкових зварювальних напружень. Так однією з причин аварій на мінометах Молот були саме ці чинники.

### Постановка завдання

У зв'язку з цим, при проведенні зварювальних робіт в польових умовах особливе значення має завдання виявлення тріщини подібних дефектів зварних з'єднань. Метою статті є оцінка основних дефектів зварювання в польових умовах і аналіз способів виявлення їх за допомогою контролю якості зварювання.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Якість зварювання – поняття дуже багатогранне. Не можна сказати по якомусь одному показнику та про якість в цілому. Якість зварювання визначається рівнем дефектів при зварюванні, особливостей протікання технологічного процесу і включає в себе ряд одиничних показників (рис. 1).

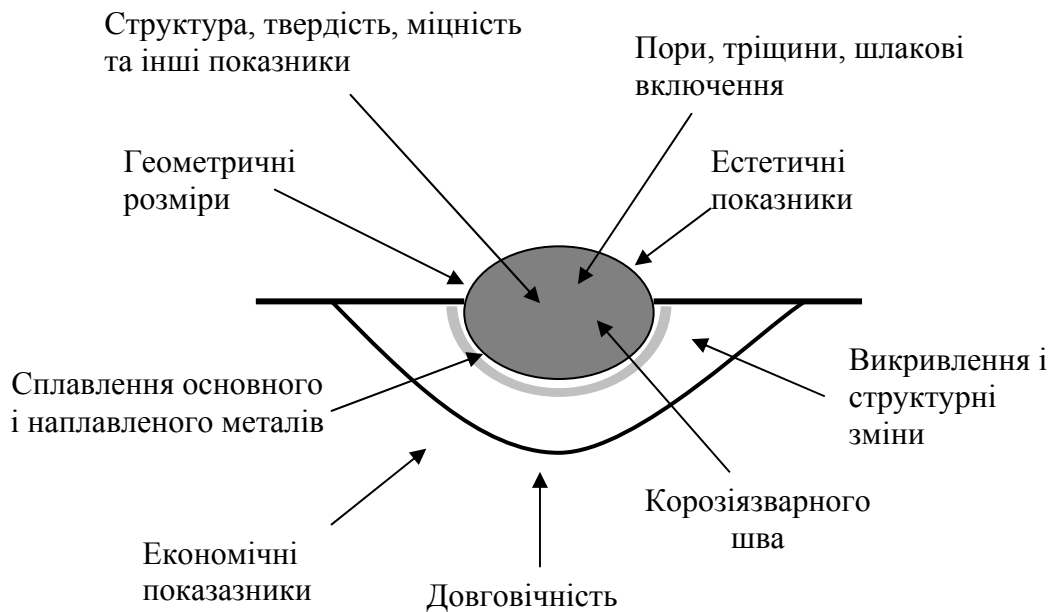


Рис. 1. Показники якості зварювання

Якість зварювання також залежить від багатьох технологічних факторів: зварювальні матеріали (електроди, зварювальний дріт, флюси, захисні газу), режими зварювання (сила струму, напруга), матеріали деталей, що зварюються і якість їх підготовки перед зварюванням, професійно-особистісний рівень зварника (кваліфікація, відношення до роботи), умови виконання робіт та ін.

Дефекти призводять до зменшення міцності зварного шва, до порушення герметичності з'єднання і до зниження експлуатаційної надійності зразка ОВТ. Проведені дослідження дозволили виявити основні причини дефектів зварювання (табл. 1.).

Таблиця 1

### Основні дефекти зварювання та їх причини

№	Найменування дефектів	Причини появи
1	Чи невитримана форма шва, що не заварені кратера	Кваліфікація зварника, режими наплавлення
2	Непровари	Мала величина струму, кваліфікація зварника, велика швидкість зварювання
3	Перевитрата (окислення металу)	Довга дуга, сильна окислювальна струмінь
4	Пропали	Кваліфікація зварника, великий зварювальний струм
5	Пори (свищі, газові бульбашки)	Кваліфікація зварника, режими наплавлення, вода в обмазці бо флюсі, іржа

*Продовження таблиці 1*

№	Найменування дефектів	Причини появи
6	Шлакові включення	Тугоплавкі або підвищеної в'язкості шлаки, нерівномірне плавлення
7	Тріщини шва	Підвищений вміст S, P і C в металі, надмірно жорстке закріплення деталі.

Виконання зварювальних операцій в польових умовах – звичайна практика у військовій справі, а також і в інших областях: будівництві, суднобудуванні, судноремонті.

Контроль якості зварювання в таких умовах відрізняється складністю з кількох причин:

- необхідність використання портативної апаратури;
- залежність від погодних умов та інших складнощів роботи поза паркових (цехових стін);
- унікальний характер всіх без винятку операцій.

Для того, щоб здійснити якісну та повноцінну оцінку працездатності різних систем і конструкцій обов'язково необхідно проводити контроль зварних швів, використовуючи кілька методів. Всі методи поділяються за принципом впливу на досліджуваний об'єкт на дві великі групи: методи неруйнівного контролю та методи руйнівного контролю. Краще і практичніше в польових умовах застосовувати методи першої групи, але багато хто з них є досить дорогими і не завжди можливі в польових умовах.

У багатьох джерелах можна знайти докладні відомості про різні методи контролю зварних з'єднань, але наведені дані викладені переважно в описовому вигляді, є недостатньо систематизованими, що ускладнює вибір оптимальних методів контролю. При визначенні якості зварювання в польових умовах зазвичай використовують 2-3 методу контролю зварних з'єднань. Ці методи вибирають з безлічі існуючих, беручи до уваги численні вихідні дані. Однак на практиці визначальну роль у призначенні необхідних методів контролю відіграють знання і досвід конкретного фахівця, компетентного в питаннях контролю якості. Тому основними методами в польових умовах, на наш погляд, будуть – візуальний контроль якості (ВКК) і ультразвуковий контроль якості (УКК). Ці способи контролю вважаються найдоступнішими і оперативними.

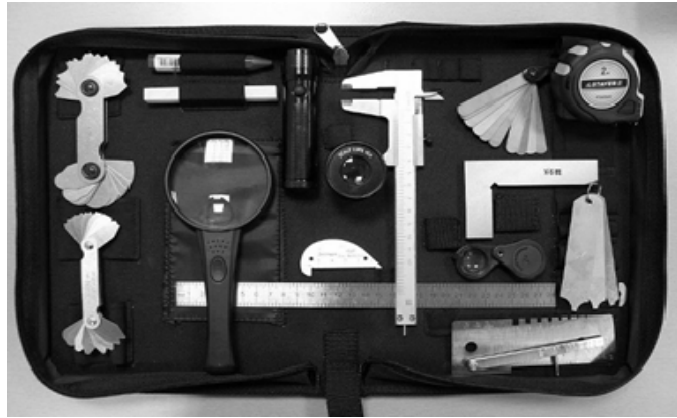
Візуальний контроль зварних швів вимагає обов'язкового вимірювання і виключення таких дефектів:

- поверхневих тріщин;
- видимих грубих дефектів;
- поганої якості зачистки металу в зонах приварювання (особливо технологічних кріплень);
- ширини і висоти шва, опуклості і угнутості шва;
- вірних розмірів катетів кутового шва;
- надмірної лускатості, напливів, підрізів;
- надмірного посилення або ослаблення швів.

У той же час, проведені дослідження показали, що основними недоліком ВКК є людський фактор, який впливає на 100% результатів; низька достовірність отриманих результатів, суб'єктивність; використання тільки для пошуку великих дефектів (не менше 0,1-0,2 мм); обмеженість дослідження тільки видимою частиною конструкції.

При цьому способі дуже важлива технічна грамотність фахівців, які повинні правильно підібрати методику вимірювання, порівняльний шаблон або нормативи і дати точну оцінку результатам вимірювання (рис. 2).

Перевага УКК полягає в тому, що він в змозі визначити навіть самий незначний механічний дефект в досліджуваному об'єкті і найдрібніші відхилення в його хімічному складі. Крім того, пристрій з вражаючою точністю визначить в зварних швах наявні порожнечі, а також відмінності в однорідності структури. Якщо в металі присутні неметалеві і шлакові включення, то УКК це покаже.

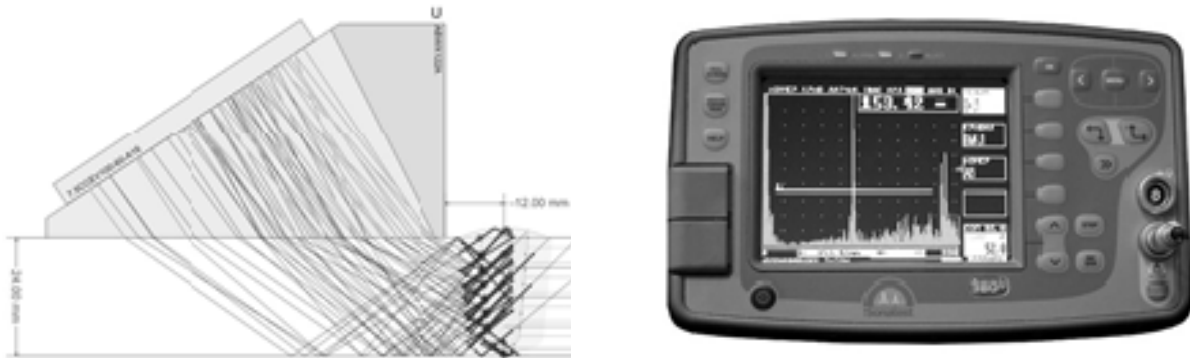


**Рис. 2. Інструменти для візуального контролю зварних з'єднань в польових умовах**

УКК забезпечує суцільний високопродуктивний контроль зварних з'єднань. Використання вдосконалених технологій дозволяє системі вирішувати такі складні завдання як обстеження зварних з'єднань з різномірних металу або товстостінних зварних з'єднань. Інноваційне програмне забезпечення дозволяє оператору проводити швидке налаштування системи, управляти збором і зберіганням баз даних, проводити аналіз даних і формувати звіти.

Асортимент апаратури ультразвукової техніки для польових умов стрімко зростає. Збільшується точність вимірювань і зручність виконання контрольних операцій.

Кожна область зварного з'єднання перевіряється з використанням окремого ультразвукового променя. Програмне забезпечення системи автоматично створює зони контролю для будь-якої конфігурації зварного шва. Кількість і тип інспекційних зон визначаються типом і розміром зварного шва. Автоматично встановлюються параметри системи, необхідні для контролю всіх інспекційних зон (рис. 3.).



**Рис. 3. Представлення інформації у вигляді схемних смуг при УКК**

Проведені дослідження показали, що до основних недоліків УКК можна віднести: обмеженість отриманої інформації про дефект; деякі труднощі при роботі з металами з крупнозернистою структурою, які виникають через розсіювання і загасання хвиль; необхідність проведення попередньої підготовки поверхні шва.

У той же час, стійкість зварних з'єднань корпусу багато в чому визначає живучість ОВТ в бою. Так, наприклад, критерієм стійкості при снарядному обстрілі є сумарна протяжність зруйнованих швів.

Нами було проведено порівняльний аналіз методів ВКК і УКК на тріщині і звареному шві на зразку ОВТ (рис. 4.).



Рис. 4. Тріщина орієнтована поперек осі стикового кільцевого шва

Зовнішній візуальний огляд застосовувався, як правило, відносно досить великих зварних конструкцій для виявлення в них всіляких дефектів і несправностей. Для цього використовуються спеціальні оптичні пристрої, які підвищують ефективність обстеження об'єкта.

Результати оцінки двох методів представлений в табл 2.

Таблиця 2

#### Результати оцінки методів

Метод контролю	Ширина розкриття, мм	Глибина, мм	Довжина, мм
Візуальний контроль якості	0,005...0,01	0,05	0,1
Ультразвуковий контроль якості	0,001...0,03	0,03	1,5...2

В межах одного класу звареної конструкції допустимі найрізноманітніші дефектні ситуації, які не повинні виходити за рамки обумовленості ДСТУ.

Залежно від відповідальності і якості звареної конструкції для неї можна обчислити коефіцієнт ознаки якості  $\gamma_\alpha$ .

$$\gamma_\alpha = \sqrt{\prod_1^n q_i} \quad (1)$$

$$q_i = \frac{P_i}{P_0} \quad (2)$$

де  $p_i, p_0$  – абсолютні значення реального і ідеального показника;

$n$  – кількість показників даної ознаки.

Ознак якості  $i$ , відповідно, коефіцієнтів  $\gamma$  може бути багато [5]. Наприклад, наявність і розміри внутрішніх дефектів  $\gamma_d$ ; зовнішні дефекти, форма зварного з'єднання  $\gamma_\phi$ ; рівність залишкових напруг  $\gamma_n$  і т.д. У межах кожної ознаки може бути  $n$  конкретних показників, наприклад, в шві багато дефектів різного розміру, розташування і т.п. Маючи в своєму розпорядженні таку інформації, для кожного зварного з'єднання або всієї зварної конструкції можна обчислити показник якості

$$\gamma = \prod_1^N \gamma_\alpha^\beta \quad (3)$$

де  $N$  – число ознак, кожен з яких має усереднений коефіцієнт  $\gamma_\alpha$  і певну значимість  $\beta$  (вагомність) у визначенні якості даного ремонтується виробу. Завжди  $\gamma_\alpha < 1$ ,  $\gamma < 1$  і  $\beta < 1$ . Рівність одиниці рівнозначно ідеальності якості. При такому підході до оцінки якості в межах кожної категорії будь-якого зварного з'єднання може бути дана цифрова оцінка.

Таким чином, можна зробити висновок, що ВКК має такі переваги: простота, доступність, інформативність, малобюджетність, непорушність об'єкта обстеження і можливість неодноразового огляду. Візуальні огляди зварних з'єднань дозволяють на ранній стадії запобігти негативним наслідкам в майбутньому.

Але при використанні УКК необхідно розуміти, що він залежить від багатьох факторів, які забезпечують якість його проведення. До них відносяться: вибір моделі з технічними характеристиками, що мають, відповідні обстеження, калібрування і налаштування пристрою, а також досвід і кваліфікація фахівця, який експлуатує прилад.

Виявлені в статті проблеми і особливості контролю зварювання виробів в польових умовах доцільно враховувати в процесі розробки експлуатаційної, нормативно-технічної документації і навчання персоналу.

### Список використаних джерел

1. Алгоритм Відновлення боєздатності ЗС України, звіт Начальника ГШ ЗС України від 24.11.2015 року № 348-5990. – К.: ГШ ЗСУ. 2015. – 18 с.
2. Богунов С. В. Оценка готовности к боевому применению танков, содержащихся на длительном хранении / С. В. Богунов, А. А. Щава. – К.: КВТИУ, 1988. – 50 с.
3. Альошин Н. П. Фізичні методи неруйнівного контролю зварних з'єднань: навч. посібник. - К, Машинобудування, 2013. - 567 с.
4. Ключев В.В. Неруйнівний контроль та діагностика: довідник / В.В. Ключев, Ф.Р. Соснін, Ковальов О. В. та ін; Під ред. В.В. Ключева. - 3-е вид., Перероб. і доп. - М.: Машинобудування, 2005. - 656 с.
5. Троїцький В.А. Короткий посібник з контролю якості зварних з'єднань. - К., Фенікс.-2006.- 320 с.

### References

1. *Report of the Chief of Staff the Armed Forces of Ukraine Algorithm Rebuilding of combat effectiveness of the Armed Forces of Ukrain № 348-5990 (2015, November 24).* Kyiv: The General Staff of the Armed Forces of Ukraine [in Ukrainian].
2. Bogunov, S.V. (1988). *Otsenka gotovnosti k boevomu primeneniyu tankov, soderzhaschihsya na dlitelnom hranenii [Evaluation of the readiness for combat use of tanks held in long-term storage]*. Kyiv: KVTIU [in Russian].
3. Aloshyn, N.P. (2013). *Fizychni metody neruinivnoho kontroliu zvarnykh ziednan [Physical methods of non-destructive testing of welded joints]*. Kyiv: Mashynobuduvannia Publ. [in Ukrainian].
4. Kliuiev, V.V., Sosnin, F.R., & Kovalov O.V. et al. (2005). *Neruinivnyi kontrol ta diahnostryka: dovidnyk [Non-destructive testing and diagnosis: a guide]*. Kliuieva V.V. (Ed.). (3rd, enl.). Moskva: Mashynobuduvannia Publ. [in Ukrainian].
5. Troickii, V.A. (2006). *Korotkyiposibnyk z kontroliuyakostizvarnyhzyednan [A short guide to quality control of welded joints]*. Kyiv: Feniks Publ. [in Russian].

**Рецензент:** Колчін Р.В., кандидат технічних наук, Військова академія (м. Одеса), Україна

### КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРКИ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

В. Бачинский, Е. Кондратенко, В. Кондратенко, Т. Жарун, О. Соколовский

*В статье показаны проблемы, которые возникают при контроле качества сварки в полевых условиях. Проведена оценка основных дефектов сварки в полевых условиях и сделан анализ способов выявления их с помощью контроля качества сварки. Показаны показатели качества сварки деталей, наиболее распространенные дефекты сварки и причины их возникновения. Проведен сравнительный анализ методов*

визуального контролю и ультразвукового контролю качества сварки в полевых условиях на трещине и сваренном шве образца ВВТ. Установлено, что в зависимости от ответственности и качества сваренной конструкции для нее можно вычислить коэффициент признака качества, которое даст возможность для любого сварного соединения определить цифровую оценку контроля качества.

**Ключевые слова:** качество сварных соединений, дефекты, контроль качества.

## FIELD WELDING QUALITY CONTROL

V. Bachinskyi, O. Kondratenko, V. Kondratenko, T. Zharun, O. Sokolovskyi

*Fast and high-quality repair of weapons in the field will be crucial in modern combat. Thus, quality control of welding of weapons in the field will be the main criterion in determining the degree of readiness of weapons for their intended use, after repairs in the field. Defects of welded joints have the greatest danger for the technical condition of weapons samples.*

*The purpose of the article is to assess the main defects of welding in the field and analyze ways to detect them through quality control of welding.*

*Defects lead to a decrease in the strength of the weld, to a violation of the tightness of the connection and to a decrease in the operational reliability of the sample of weapons. The conducted researches allowed revealing the main reasons of defects of welding.*

*2-3 methods of control of welded joints are usually used to determine the quality of welding in the field. These methods are selected from a variety of existing ones, taking into account the numerous initial data.*

*Therefore, the main methods in the field, in our opinion, will be – visual quality control and ultrasonic quality control. These methods of control are considered the most accessible and efficient.*

*At the same time, studies have shown that the main disadvantage of visual quality control is the human factor, which affects 100% of the results; low reliability of the obtained results, subjectivity; use only to search for large defects (not less than 0.1-0.2 mm); limited research only by visible part of the structure.*

*Studies have shown that the main disadvantages of the ultrasonic quality control include: limited information about the defect; some difficulties when working with metals with coarse-grained structure, which arise due to scattering and attenuation of waves; the need for preliminary preparation of the seam surface.*

*The problems arising at quality control of welding in field conditions are revealed. Indicators of quality of welding of details, the main defects of welding and the reasons of their occurrence are shown. The comparative analysis of methods of visual control and ultrasonic control of quality of welding in field conditions is carried out.*

*The problems and peculiarities of control of welding of products in field conditions revealed in the article should be taken into account in the process of development of operational, normative and technical documentation and personnel training.*

**Keywords:** quality of welded joints, defects, quality control.