

# **КОНТРОЛЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ**

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

## **КОНТРОЛЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ**

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2023

УДК 621.791.08(076.5)  
К65

Колектив авторів:

О. К. Горлов, О. В. Келеберда, С. Ю. Миронова, В. В. Нікічанов

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. О. В. Мамлюк,  
канд. техн. наук, доц. Є. Т. Василевський

К65 **Контроль** зварних з'єднань [Електронний ресурс] : навч. посіб. /  
О. К. Горлов, О. В. Келеберда, С. Ю. Миронова, В. В. Нікічанов. – Хар-  
ків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т»,  
2023. – 90 с.

Описано дефекти зварювання плавленням, стикового та контактного зварювання. Наведено класифікацію дефектів, вказано причини їх появи й способи їх виправлення.

Розглянуто способи об'єктивного контролю як виробничих процесів, так і готових виробів. Особливу увагу приділено візуальному й вимірювальному контролю, магнітним методам контролю, контролю герметичності.

Для студентів механічних спеціальностей при проведенні практичних занять у лабораторії та самостійному вивченні відповідних розділів курсів «Зварювання в авіації», «Технологія конструкційних матеріалів», «Сертифікація».

Іл. 43. Табл. 10. Бібліогр.: 8 назв

**УДК 621.791.08(076.5)**

© Колектив авторів, 2023  
© Національний аерокосмічний  
університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», 2023

## ВСТУП

Забезпечення високої якості зварювальних робіт – одна з найбільш важливих науково-технічних і виробничих проблем в галузі зварювання, значення якої зростає в міру ускладнення конструкцій зварних виробів, застосування нових конструкційних матеріалів. Відповідальна роль у вирішенні цієї проблеми належить розробленню та широкому застосуванню сучасних методів і засобів неруйнівного контролю, ефективність яких визначається, в першу чергу, їх достовірністю та продуктивністю.

Показники якості зварних з'єднань поділяють на кількісні та якісні. При визначенні кількісних показників використовують вимірювальний метод, оснований на прямих вимірюваннях контрольованих характеристик (наприклад, вимірювання ширини шва). Кількісні показники можуть бути визначені і розрахунковим шляхом. Цей спосіб базується на визначенні показників якості, які залежать від основних вимірюваних характеристик, теоретичним або експериментальним шляхом.

При оцінюванні якості зварних з'єднань використовують і якісні показники, наприклад ступінь окиснення поверхні зварного шва (за наявності кольорів мінливості на поверхні зварного шва). У цьому випадку використовують реєстраційний метод, який базується на спостереженні й аналізі зорового сприйняття інформації. Точність визначення якісних показників залежить від накопиченого досвіду, кваліфікації і здібності фахівця, який виконує оцінювання.

При реєстраційному методі зазвичай застосовують еталони або спеціальні стандартні шкали з бальним номером вираження показника якості. При оцінюванні окисності зварного шва використовують еталони зварних з'єднань з недопустимим ступенем окиснення.

При визначенні номенклатури показників якості й розробленні шкал оцінювання застосовують експертний метод, який ґрунтується на пропозиції групи експертів-фахівців. При обробленні цієї пропозиції фахівці, що займаються питаннями оброблення й аналізу результатів спостережень, використовують методи математичної статистики.

Оцінювання якості промислової продукції проводять шляхом її контролю, тобто перевірки відповідності контрольованих показників заданим вимогам або нормам, встановленим нормативно-технічною документацією (НТД), виробничо-технологічною документацією (ВТД), технічними умовами, кресленням виробів, технологічними картами і виробничими інструкціями.

# 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ДЕФЕКТИ ЗВАРЮВАННЯ

## 1.1. Дефекти зварювання плавленням

Дефектами зварних з'єднань називають відхилення від встановлених норм і технічних вимог, що виникають в металі шва і зоні термічного впливу в процесі створення зварних з'єднань і призводять до зниження експлуатаційної надійності зварних конструкцій, погіршення їх працездатності і зовнішнього вигляду.

Дефекти в зварних з'єднаннях за походженням можна поділити на металургійні й технологічні.

Дефекти зварних з'єднань належать до технологічних дефектів, їх поділяють :

– на дефекти спотворення форми (приблизно 25 % всіх дефектів), пов'язані з деформацією і невідповідністю геометричних розмірів зварного шва або точок, регламентованим значенням, встановленим НТД (нормативно-технічною документацією);

– дефекти невідповідності хімічного складу і структури металу зварного шва або зони термічного впливу;

– дефекти несучільності зварного шва або зварних точок (на їх частку припадає приблизно 50 % всіх дефектів), у подальшому їх класифікують за можливістю виявлення – явні, приховані; за можливістю усунення – поправні, непоправні; за протяжністю – поодинокі (окремі), непротяжні (розташовані компактно), протяжні (витягнуті в лінію); за формою – площинні, об'ємні (пори, включення); за місцем розташування – поверхневі, внутрішні (підповерхневі і глибинні), крізні.

До поверхневих дефектів належать: непровари в корені шва, підризи, напливи, кратери, заниження (ослаблення) лицьової поверхні шва, вгнутість кореня шва, зсув зварених крайок, різкий перехід від шва до основного металу (неправильне сполучення зварного шва), бризки металу, поверхневе окиснення, поверхневі тріщини.

До внутрішніх дефектів належать: пори, включення, оксидні плівки, внутрішні тріщини, непровари по крайці з основним металом і між окремими шарами, свищі.

До крізних дефектів належать тріщини і пропали.

У стандарті ДСТУ EN ISO 6520-1:2015 дефекти класифіковані на шість таких груп:

1 – тріщини;

2 – порожнини, пори;

3 – тверді включення;

4 – несплавлення і непровар;

5 – порушення форми шва;

6 – інші дефекти, не включені до зазначених вище груп.

### 1.1.1. Тріщини зварного шва

**Тріщина:** мікротріщина (1001), подовжня (101) (рис. 1.1), поперечна (102), радіальна (103), тріщина у кратері (104), роздільна (105), розгалужена (106) – дефект у вигляді розриву у зварному шві по лінії сплавлення або в пришовній зоні, який може виникнути внаслідок охолодження або дії навантажень.

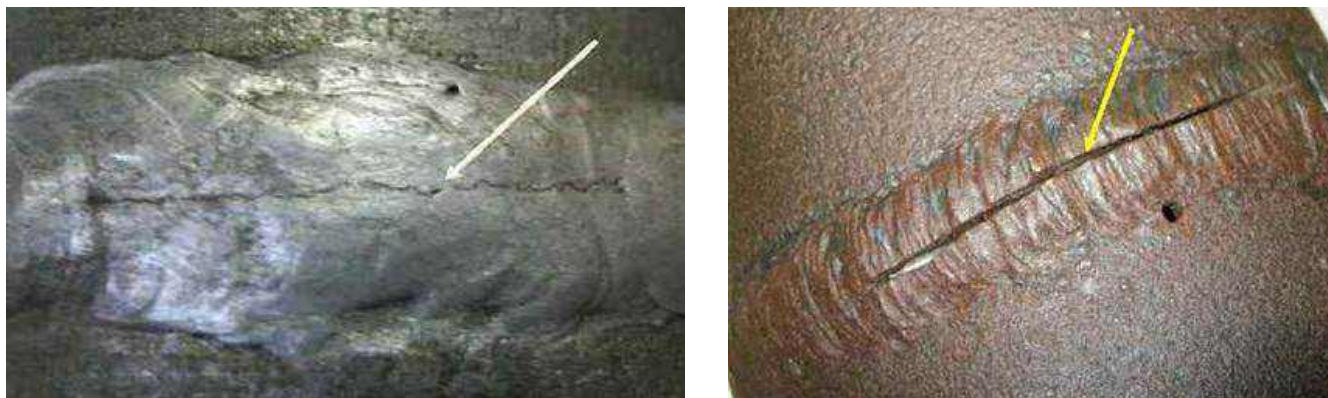


Рис. 1.1. Тріщини

Причини утворення дефекту: жорстка конструкція виробу, зварювання в жорстко закріплених пристроях, неякісний основний метал, неправильно підібрані витратні матеріали, високий вміст вуглецю або легуючих елементів в основному металі, що не враховано при виборі технології зварювання, помилка в проєктуванні зварного шва (близько розташовані концентратори, малий переріз зварного шва для цієї товщини з'єднання), великий час між зварюванням і термообробкою, використання підвищених значень зварювального струму, що призводить до появи крупнозернистих ділянок структури зварного шва, велика швидкість охолодження, порушення технології (температури підігріву, порядку накладення швів), порушення захисту.

### 1.1.2. Порожнини, пори зварного шва

**Пори:** газова порожнина (200), газова пора (2011), рівномірно розподілена пористість (2012), скупчення пор (2013), ланцюжок пор (2014), довгаста порожнина (2015) – дефект зварного шва у вигляді порожнини округлої або довгастої форми, яка заповнена газами, що затримались в розплавленому металі (рис. 1.2).

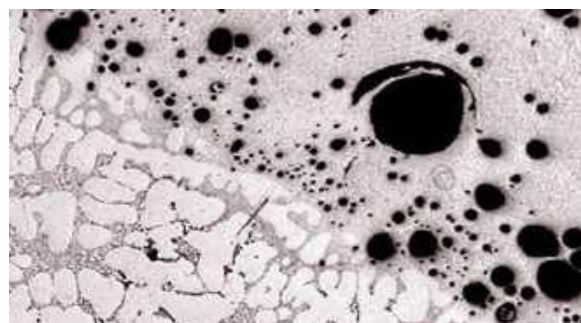


Рис. 1.2. Пори



Рис. 1.3. Свищ

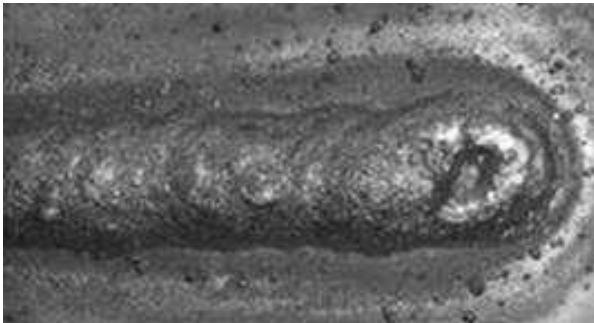


Рис. 1.4. Кратер

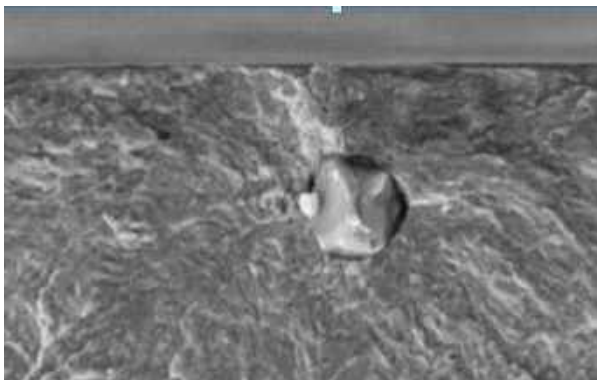


Рис. 1.5. Тверді включення

Кратери призводять до зменшення поперечного перерізу стику, що знижує ступінь його міцності, вторинна небезпека кратера полягає в тому, що його дно може мати додаткові пухкі включення, що призводять до появи тріщини.

### 1.1.2. Тверді включення зварного шва

Тверде включення (шлакове (301), флюсове (302), оксидне (303), металеве (304)) – дефекти у вигляді неметалевих частинок або стороннього металу в металі шва (рис. 1.5). Мають сферичну або довгасту форму, або бути у вигляді прошарків.

Неметалеві (шлакові) включення знижують ударну в'язкість і міцність зварного з'єднання і є концентраторами напруження. Причини утворення

Причини утворення дефекту: вологий флюс, електроди, що зволилися, неякісна підготовка зварювальних крайок і поверхні зварювального дроту, збільшений діаметр електрода, довга дуга, збільшена швидкість зварювання, неякісний захист, неякісний основний метал.

**Свищ (2016)** – дефект у вигляді наскрізного поглиблення у зварному шві, спричинене виділенням газу (рис. 1.3). Форма і положення свища залежать від режиму кристалізації зварювальної ванни і джерела газу.

Супроводжує тріщини, що виходять на поверхню. Найчастіше виникають при зварюванні в  $\text{CO}_2$ .

Причини утворення дефекту: неякісний основний метал, порушення захисту.

**Усадкова раковина (202)** – дефект у вигляді порожнини, що утворюється внаслідок зсідання під час твердіння.

**Кратер (202)** – усадкова раковина в кінці валика зварного шва або в місці обриву дуги, не заварена до або під час виконання наступних проходів (рис. 1.4).

Причини утворення дефекту – порушення техніки зварювання.



дефекту: неякісна підготовка поверхні, неякісний основний метал, порушення технології зварювання, порушення захисту при зварюванні.

### 1.1.3. Несплавлення і непровар зварного шва

**Несплавлення (401)** – дефект у вигляді відсутності з'єднання між металом зварного шва та основним металом або між окремими валиками зварного шва. Розрізняють такі несплавлення: по бічній стороні (4011); між валиками (4012); в корені зварного шва (4013).

До цього дефекту належить і неповне заповнення перерізу шва (рис. 1.6), яке виникає при зварюванні алюмінієвих сплавів і зварюванні під флюсом.

Причини утворення дефекту: занадто довга зварювальна дуга, недостатня сила струму, незадовільне підготовлення поверхонь, неправильна форма розробки крайок, велика величина притуплення, малі зазори, зсув електрода, занадто висока швидкість переміщення електрода, неякісне зачищення шва після виконання проходу (присутність окалини, іржі та інших забруднень).

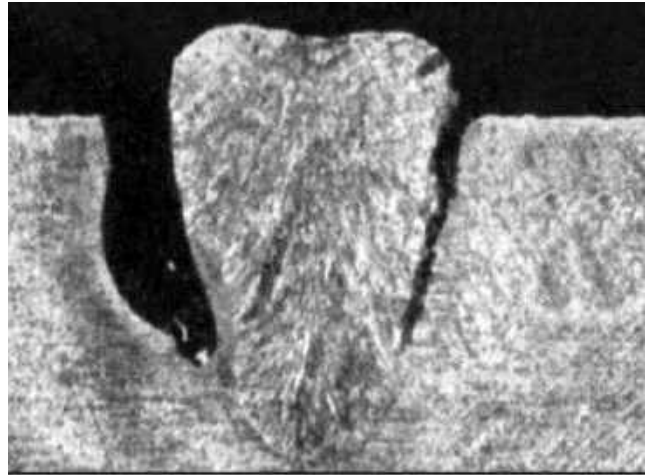


Рис. 1.6. Грубе двобічне несплавлення

Такий дефект сильно знижує міцність з'єднання і конструкції в цілому.

**Непровар (402)** – дефект (рис. 1.7) у вигляді несплавлення основного металу по всій довжині шва або на ділянці, яке виникає внаслідок нездатності розплавленого металу проникнути в корінь з'єднання.



Рис. 1.7. Непровар

Існують непровари в корені шва, між окремими шарами, по крайці з основним металом. Непровари в корені зварного з'єднання і між шарами



багатошарового шва є концентраторами напружень, зменшують суцільність металу зварного з'єднання і працездатність конструкцій.

Причини утворення дефекту: недотримання техніки зварювання; велика швидкість подачі присадного дроту.

#### 1.1.4. Порушення форми шва

Неправильна форма швів може суттєво знижувати працездатність з'єднань, особливо при динамічних або вібраційних навантаженнях.

**Підріз зони сплавлення:** неперервний (5011), переривчастий (5012) – дефект у вигляді протяжного поглиблення на зовнішній поверхні валика зварного шва уздовж лінії сплаву основного металу і шва (рис. 1.8).

Виникає при зварюванні концентрованими джерелами в режимі глибокого проплавлення, а також при зварюванні кутових швів.

Причини утворення дефекту: великий струм, велика швидкість зварювання, довга дуга, нахил електрода (неправильне ведення).

**Усадкова канавка (5013)** – дефект у вигляді порожнини, що утворюється внаслідок зсідання під час твердіння – підріз з боку кореня одностороннього зварного шва, спричинений усадкою по межі сплавлення (рис. 1.9).

Рідкий метал під тиском дуги витісняється в центральну частину нижньої області зварювальної ванни, де кристалізується не встигнувши заповнити западину до лінії сплаву.

Причини утворення дефекту: неправильно підібрані параметри режимів зварювання; низька кваліфікація зварника; порушення геометричних розмірів зварювального шва; несприятливе просторове положення шва.



Рис. 1.8. Підріз зони сплавлення



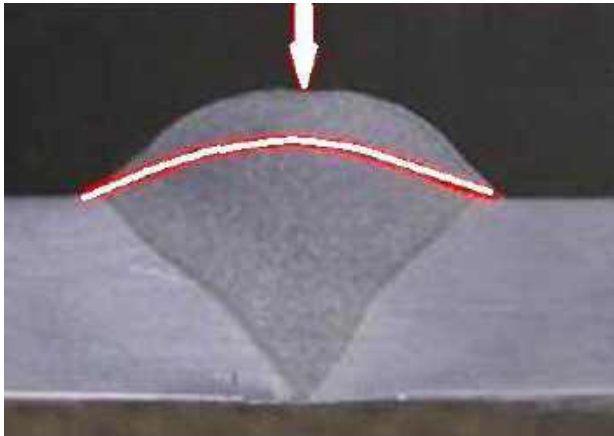
Рис. 1.9. Усадкова канавка

**Перевищення опуклості стикового шва (502)** – дефект у вигляді надлишку наплавленого металу на лицьовій стороні стикового шва понад установленого значення (рис. 1.10).

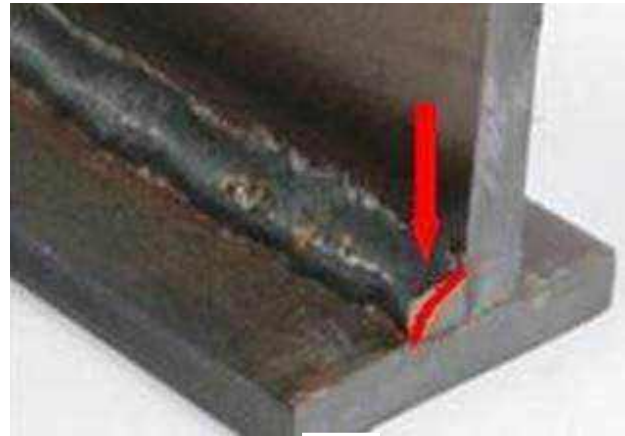
Причини утворення дефекту: низька швидкість зварювання; зварювання конструкції з малою товщиною стінки «кутом назад»; низька кваліфі-

кація зварника; неправильний вибір параметрів режиму зварювання; незручне просторове положення шва; вузьке розкриття крайок при однопрохідному зварюванні; неякісна підготовка і складання деталей під зварювання.

**Перевищення опуклості кутового шва (503)** – надлишок наплавленого металу на лицьовому боці кутового шва (на всій довжині або на ділянці) понад устанавленого значення.



а



б

Рис. 1.10. Перевищення опуклості стикового (а) і опуклості кутового (б) зварних з'єднань

**Перевищення проплаву (504)** – дефект у вигляді надлишку наплавленого металу на зворотному боці стикового шва понад устанавлене значення (рис. 1.11).

Під дією власної ваги розплавлений метал зварювальної ванни провисає, і шов формується з надлишковою опуклістю в нижній частині.

Причини утворення дефекту: надмірна текучість розплавленого металу зварювальної ванни; збільшений зазор у стику; неправильний вибір параметрів режиму зварювання; підвищений поверхневий натяг металу зварювальної ванни; неоднакова товщина металу по довжині шва.

**Неправильний профіль зварного шва (505)** – кут  $\alpha$  між поверхнею основного металу і площиною, дотич-

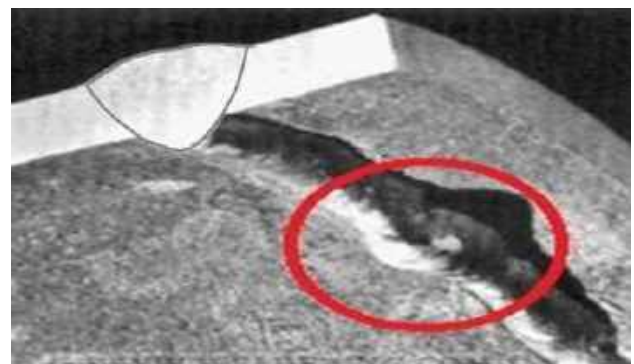


Рис. 1.11. Перевищення проплаву

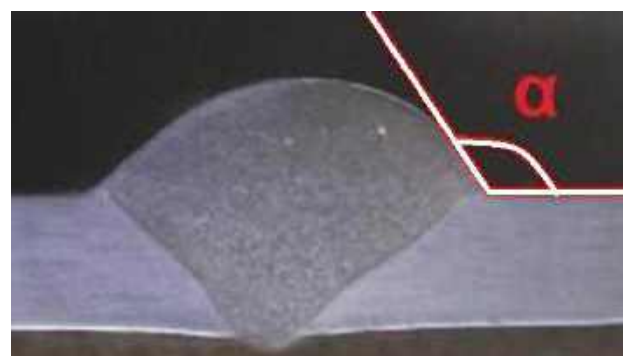


Рис. 1.12. Неправильний профіль

ною до поверхні зварного шва, менше встановленого ( $160^\circ$ ) значення (рис. 1.12). При формуванні шва під дією тиску дуги рідкий метал центральній частині зварювальної ванни спучується і після кристалізації утворює випуклість.

Причини утворення дефекту: мала швидкість зварювання; зварювання «кутом назад» металу малої товщини; погана рідкотекучість металу зварювальної ванни; неправильна геометрія шва; високий поверхневий натяг розплавленого металу або міжфазного натягу на межі зі шлаком; низька кваліфікація зварника.



Рис. 1.13. Напливи

**Наплив на зварному з'єднанні (506)** – дефект у вигляді натікання рідкого металу на поверхню основного або раніше виконаного валика і несплавлену з ним (рис. 1.13).

Виникає з лицьового боку з'єднання або зворотної сторони внаслідок неякісного підтискання до підкладки і зазвичай при зварюванні в горизонтальному і вертикальному положеннях, а також на спуск і на підйом.

Причини утворення дефекту: великий струм, велика швидкість зварювання, довга дуга (велика напруга), зсув електрода, велика швидкість подавання присадного дроту, нахил електрода (неправильне ведення).

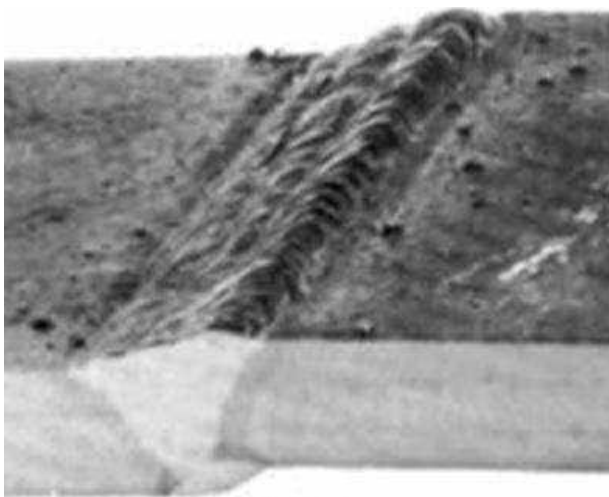


Рис. 1.14. Лінійне зміщення

**Лінійне зміщення зварного шва (507)** – дефект у вигляді зміщення між двома зварюваними елементами, при якому їх поверхні розташовані паралельно, але не на потрібному рівні (рис. 1.14).

При зварюванні двох деталей під дією термічного циклу зварювання відбувається паралельне зміщення однієї деталі, що зварюється, відносно іншої.

Причини утворення дефекту – відсутність пристроїв для жорсткої фіксації деталей, що зварюються в горизонтальному положенні; порушення технологічного процесу виготовлення конструкції; надмірна теплова потужність зварювальної дуги при зварюванні першого шва.



**Кутове зміщення (508)** – дефект у вигляді зміщення між двома зварюваними елементами, при якому їх поверхні розташовані під кутом, що відрізняється від потрібного (рис. 1.15).

При зварюванні двох деталей під дією термічного циклу зварювання відбувається зміщення однієї деталі, що зварюється під кутом, відносно іншої.

Причини утворення дефекту – відсутність пристроїв для жорсткої фіксації деталей, що зварюються в горизонтальному положенні; порушення технологічного процесу виготовлення конструкції; надмірна теплова потужність зварювальної дуги при зварюванні першого шва.

**Пропалювання зварного шва (510)** – дефект у вигляді наскрізного отвору в звареному шві, що утворився внаслідок витікання частини рідкого металу зварювальної ванни в процесі виконання зварювання (рис. 1.16).

Характерні при зварюванні тонкостінних елементів, а також першого (кореневого) шва при багатшаровому зварюванні.

Причини утворення дефекту: занадто повільне переміщення електрода по лінії стику, велика погонна енергія, збільшений зазор, мала величина притуплення, великий зсув крайок, недостатня товщина прокладки або ж нещільне її прилягання, викривлення крайок й відставання їх від підкладки при зварюванні.

Зазвичай зі зворотного боку утворюється наплив.

**Неповне заповнення розроблених крайок (511)** – дефект у вигляді поздовжньої неперервної або переривчастої канавки на поверхні зварного шва через недостатність присаджувального металу при зварюванні (рис. 1.17). Причини утворення

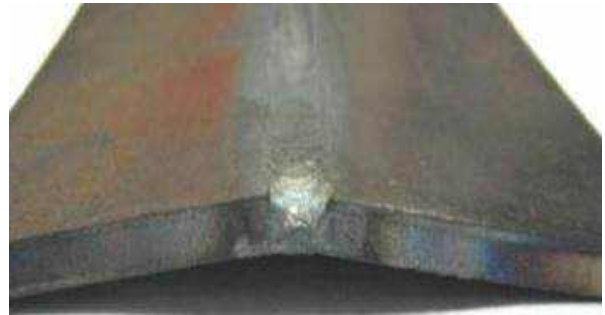


Рис. 1.15. Кутове зміщення деталей



Рис. 1.16. Пропалювання

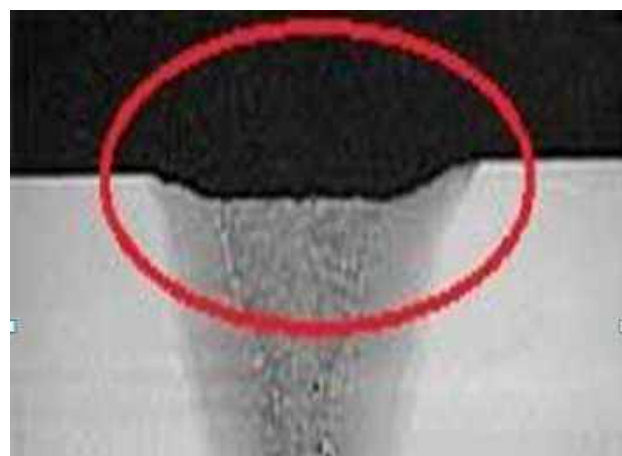


Рис. 1.17. Неповне заповнення розроблених крайок

дефекту: низька кваліфікація зварника; неправильно вибрані марка і розміри присадного матеріалу; порушення технології виготовлення конструкції; неправильний вибір методу оброблення крайок; неправильне просторове положення, що призводить до стікання металу на один бік.

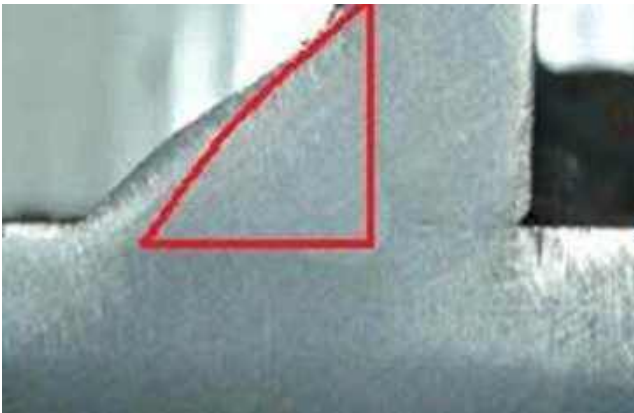


Рис. 1.18. Надмірна асиметрія кутового шва



Рис. 1.19. Нерівномірна ширина зварного шва



Рис. 1.20. Увігнутість кореня зварного шва

бокої канавки з боку кореня одностороннього зварного шва, що утворилася внаслідок зсідання (рис. 1.20).

**Надмірна асиметрія кутового шва (512)** – дефект у вигляді надмірного перевищення розмірів одного катета над іншим (рис. 1.18).

Причини утворення дефекту: незручне просторове положення для формування шва; низька кваліфікація зварника; висока рідкотекучість металу зварювальної ванни; порушення технології виготовлення конструкції; різна теплопровідність металу деталей, що зварюються.

**Нерівномірна ширина зварного шва (513)** – дефект у вигляді відхилення ширини від установленого значення уздовж зварного шва (рис. 1.19).

Причини утворення дефекту: коливання напруги мережі живлення; використання при ручному зварюванні джерела живлення з палоспадною або жорсткою вольт-амперною характеристикою; низька кваліфікація зварника; погана підготовка крайок; зварювання довгою дугою; порушення технології зварювання при виготовленні конструкції; неточний напрямок електрода.

**Нерівна поверхня (514)** – дефект у вигляді грубої нерівномірності форми поверхні підсилення шва по довжині.

**Увігнутість кореня зварного шва (515)** – дефект у вигляді негли-

При формуванні кореневого шва поверхневий натяг металу знижується. Відбувається зтяжка кореня шва. Утворюється увігнута поверхня.

Причини утворення дефекту: неправильно підготовлені і складені крайки, що стикуються; неправильно вибрані зварювальні матеріали; низька кваліфікація зварника; порушення технології зварювання при виготовленні конструкції.

### 1.1.5. Інші дефекти

**Бризки металу (602)** – дефект у вигляді затверділих крапель рідини металу на поверхні зварного з'єднання з утворенням або без утворення кристалічного зв'язку з основним металом (рис. 1.21).

Виникає при зварюванні товстопокритими електродами в  $\text{CO}_2$ .

Причини утворення дефекту: недотримання техніки зварювання, довга дуга.



Рис. 1.21. Бризки металу

## 1.2. Дефекти контактного зварювання

Усі дефекти контактного зварювання поділяють на дефекти, пов'язані з порушеннями геометричних розмірів з'єднання, і на дефекти, пов'язані з порушеннями в зоні зварювання.

Дефекти геометричних розмірів з'єднання містять зсув, неперпендикулярність, неспіввісність, кутовий розворот, зсув, недотримання величини напуску і кроку між зварними точками (порушення геометричного розташування деталей при складанні та прихопленні).

Такі дефекти в основному пов'язані з неякісною роботою зварювального устаткування (неспіввісність електродів, прогин консолей зварювального вторинного контуру) і пристроїв (неправильний розрахунок точності – низька жорсткість, зношення). Крім того, причиною виникнення дефектів цього виду можуть бути термічні деформації при зварюванні кількох точок, якщо схема їх розташування не дотримана.

Дефекти в зоні зварювання пов'язані з відхиленнями геометричних розмірів ядра, величини проплавлення, вм'ятин, а також з порами, раковинами, зміною властивостей металу в литій і перехідній зонах ядра зварної точки, тріщинами, виплесками металу, пропалами, видавлюванням металу ядра, негерметичністю, надмірними зазорами між деталями навколо зварної точки, хлопунами.

Ступінь впливу дефектів контактного зварювання на надійність залежить від їх кількості і розташування в зварних з'єднаннях.

**Відхилення розмірів деталей.** Підвищення допусків на лінійні розміри деталей, злам осей електродів. Причини виникнення: неправильне складання або розташування деталей між електродами, погане центрування електродів. Засоби виявлення: зовнішній огляд з використанням вимірювального інструменту.

**Зміщення точок.** Нерівномірна відстань між точками, відхилення їх від осі можуть супроводжуватися розривами накладки.

Причини виникнення: порушення технології, несправність устаткування, низька кваліфікація зварника.

Засоби виявлення: зовнішній огляд з використанням вимірювального інструменту.

**Гофри та жолоблення деталей.** Нерівні поверхні деталей.

Причини виникнення: неправильне складання та послідовність постановки точок, відсутність прихваток, надмірна відстань між ними, відсутність співвісності електродів, нерівномірне нагрівання й охолодження деталей.

Засоби виявлення: зовнішній огляд неозброєним оком.

**Роздавлювання металу й тріщини у металі з краю напустки.**

Причини утворення: малий напуск, великий струм, велика тривалість імпульсу, надлишкове зусилля проковування, порушення технології, низька кваліфікація зварника.

Засоби виявлення: зовнішній огляд неозброєним оком або через лупу.

**Неправильна форма відбитку електрода на поверхні деталі.**

Причини утворення: неправильне заточування електродів, неспіввісність електродів, нерівномірне зношення робочої поверхні електродів, перевищена швидкість при шовному зварюванні.

Засоби виявлення: зовнішній огляд неозброєним оком.

**Надмірні вм'ятини від електродів.** Зовнішні ознаки: глибокі вм'ятини на поверхнях деталей. Глибина вм'ятини вважається прийнятною, якщо вона не перевищує 10 % товщини однієї деталі.

Причини утворення: завищені значення струму та тривалості зварювання, надмірне зусилля на електродах під час проковування, внутрішні виплески, мала робоча поверхня електродів, перекіс деталей та електродів. Засоби виявлення: зовнішній огляд, вимірювання глибини вм'ятини індикатором.

**Потемніння поверхні відбитків («кольори мінливості»).** Не є значним дефектом в сталях, але призводить до масоперенесення і зниження корозійної стійкості алюмінієвих сплавів.

Причини утворення дефекту: малий час проковування.

Засоби виявлення: зовнішній огляд неозброєним оком.



**Зовнішні тріщини.** Причини утворення: великий струм, мале зусилля зварювання й проковування, великий контактний опір деталей, неякісна підготовка поверхні деталей, забруднення поверхні електрода.

Засоби виявлення: зовнішній огляд неозброєним оком або через лупу, рентгенівське просвічування.

Дефект часто супроводжується підплавленням поверхні точки. Небезпечний дефект при дії змінних навантажень.

**Усадкові дефекти (рихлини, тріщини).** Зазвичай виникають у сплавах, що мають великий температурний інтервал кристалізації.

Причини утворення: мале зварювальне зусилля, великий струм, велика тривалість імпульсу, погана підготовка поверхні, пізніше ввімкнення зусилля проковування, недостатнє зусилля проковування (при зварюванні легких сплавів).

Засоби виявлення: зовнішній огляд неозброєним оком або через лупу, рентгенівське просвічування.

**Зовнішній виплеск (початковий, кінцевий).** Нерівні поверхні точок, значне їх окиснення.

Причини утворення: завеликі значення струму зварювання або велика тривалість імпульсу, недостатнє зусилля попереднього стиснення деталей, перекіс деталей між електродами, неправильна форма контактної поверхні електродів, неякісна підготовка поверхонь деталей та електродів у контакті електрод – деталь, занадто велика швидкість шовного зварювання легких сплавів.

Засоби виявлення: зовнішній огляд неозброєним оком або через лупу, рентгенівське просвічування.

**Непровар (повний, частковий).** Ознака непровару: малий діаметр відбитка (лите ядро або не сформувалося зовсім, або виявилось занадто малим). Найбільш небезпечний дефект, який важко виявляється. Особливо небезпечним є дефект у вигляді повного непровару.

Причини утворення: порушення технології при складному режимі зварювання, недостатній струм або тривалість зварювання, малий крок між точками (шунтування струму), велике зварювальне зусилля, раннє вмикання зусилля проковування, збільшено розміри (діаметр) робочої частини електродів, великі зазори між деталями, велика товщина плакування, неякісна підготовка поверхонь зварювання.

Засоби виявлення: зовнішній огляд, контроль щупом, вимірювання діаметра відбитка, місцеве припідняття крайки деталі пробником, технологічна проба, рентгенівське просвічування.

**Внутрішній виплеск (початковий, кінцевий), раковини, пори.** Ознака виплеску: велика глибина відбитка.

Причини утворення: занадто великий зварювальний струм, велика тривалість імпульсу, малі зусилля зварювання й проковування, великі складальні зазори, погана підготовка поверхні, мала накладка, мала площа контактної поверхні електрода.

Засоби виявлення: попередній зовнішній огляд, неруйнівні методи контролю (перевірка ультразвуком або рентгенівською дефектоскопією).

**Перепал і пропал (наскрізне пропалювання).** Зовнішніми ознаками є: дуже глибока вм'ятина, губчаста поверхня шва або точки, а також зазвичай велика ділянка кольорів мінливості на деталі. При пропалюванні шарів металу утворюється наскрізний свищ, який у поперечині дорівнює діаметру робочої поверхні електрода.

Причини утворення: ввімкнення або вимкнення зварювального струму при малому зусиллі стиснення, перегрів металу унаслідок великого струму й великої його тривалості, великі зазори, погана підготовка поверхонь деталей, забруднення електрода.

Засоби виявлення: зовнішній огляд неозброєним оком.

**Неправильна форма литої зони в площині з'єднання.**

Причини утворення: погана підготовка поверхні, неспіввісність електродів.

Засоби виявлення: за зразками технологічної проби.

**Виризи.** Замість точок виникають отвори.

Причини утворення: великий натяг в деталях через погане складання або в процесі виправлення.

Засоби виявлення: зовнішній огляд.

**Відсутність герметичності.**

Причини утворення дефекту: порушення технології, низька кваліфікація зварника.

Засоби виявлення: перевірка щодо герметичності.

### 1.3. Дефекти стикового зварювання

Оптимальні умови стикового зварювання оплавленням забезпечують в стику показники міцності та пластичності, близькі до основного металу.

При стиковому зварюванні опором виникнення будь-яких дефектів в стиках найчастіше пов'язані з відхиленням в умовах їх формування.

Основними дефектами є непровари, пухкості, викривлення волокон, розшарування, а також небажані змінення структури.

**Непровари, матові плями, надризи.** Недостатня пластична деформація (мала кількість здеформованого металу), немає загальних зерен на частині стику.

Причини виникнення: окиснення металу в зв'язку з відхиленням в швидкостях оплавлення і осаджування, з відхиленням в струмовому ре-

жимі при оплавленні, вимикання струму до початку осаджування; малий припуск на оплавлення; мала тривалість осаджування під струмом.

Засоби виявлення: зовнішній огляд, злом.

**Перегрів, перепалення, підплавлення країв зерен.** Надзвичайно велика зона термічного впливу. Поперечні тріщини у металі, що витиснуто. Тріщини, завелике зерно, раковини.

Причини виникнення: великі припуски на оплавлення, недостатня швидкість оплавлення, малий припуск на осаджування, надмірне нагрівання при зменшенні швидкості осаджування, збільшено тривалість осаджування під струмом.

Засоби виявлення: зовнішній огляд, металографічні дослідження, механічне випробування зразків.

**Підгар поверхонь деталі.** Окиснення або підплавлення поверхонь деталей у контакті з губками. Раковини і тріщини в місцях підгару.

Причини виникнення дефектів: недостатня величина робочої поверхні електродів, надмірний знос губок та порушення їх форми або розмірів деталі, недостатнє зусилля затиску деталей у губках, низька тепло- і електропровідність металу губок, бруд на деталях або електродах.

Засоби виявлення: зовнішній огляд.

#### **Тріщини.**

Причини виникнення: велика тривалість осаджування під струмом, відбувається пружне деформування деталей затискачів та механізмів осаджування і відхід плити назад з затисненими деталями.

Засоби виявлення: зовнішній огляд, огляд у лупу з травленням або без травлення.

**Розшарування. Надмірне скривлення.** Ліквация і розшарування металу деталей.

Причини виникнення: зміцнення торців, відхилення від установлених допусків.

Засоби виявлення: зовнішній огляд, металографічні дослідження, механічні випробування.

#### **Викривлення кінців деталей.**

Причини виникнення: недостатня жорсткість затискачів і плит машини, «люфти» в напрямних, перекіс, хибне скріплення електродів, знос електродів, мале зусилля затискування деталей, деформація деталей під час затискування, завищення встановлюваної довжини деталей.

Засоби виявлення: зовнішній огляд, вимірювання розмірів.

### **1.4. Норми дефектності і категорії відповідності зварних з'єднань**

Норми дефектності дозволяють провести сортування зварних з'єднань за трьома групами якості:

1-ша група – придатні зварні з'єднання;

2-га група – дефектні зварні з'єднання (можливе усунення дефектів і ремонт виробу);

3-тя група – браковані зварні з'єднання (ремонт виробів не допускається).

Норми дефектності вказують в технічних умовах (ТУ) на виготовлення зварного з'єднання.

Норми допустимих дефектів виражають зазвичай в значеннях мінімальних розмірів недопустимих дефектів або максимальних розмірів допустимих дефектів, виходячи з показників працездатності. Їх розраховують проєктувальники з урахуванням думок металознавців, технологів і дефектоскопістів.

На підставі норм дефектності визначають умови проведення контролю і вибирають технічні засоби контролю, а також еталонні тест-зразки.

За ступенем відповідальності зварні вироби поділяють зазвичай на три категорії. Кожній категорії відповідає певний рівень вимог до якості виробів. Так, в авіаційній промисловості відомі такі три категорії відповідальності:

1-ша категорія – особливо відповідальні зварні вироби;

2-га категорія – відповідальні зварні вироби;

3-тя категорія – маловідповідальні зварні вироби.

Для виробів першої категорії, що експлуатуються при змінних навантаженнях і в корозійному середовищі, використовують комплексну систему контролю, що передбачає застосування декількох методів неруйнівного контролю. Для цієї категорії ставляться вимоги найвищого рівня. Вироби, що належать до третьої категорії відповідальності, зазвичай контролюють візуально. У зварних з'єднаннях цієї категорії не допускаються тільки наскрізні дефекти.

Категорію відповідальності визначає конструктор спільно з експлуатаційниками виробів.

### **1.5. Виправлення дефектів зварних з'єднань**

Будь-який зварювальний процес супроводжується утворенням дефектів, незалежно від того, виконується він інвертором, напівавтоматом, трансформатором або іншим обладнанням. При цьому виділяють неприпустимі й допустимі дефекти зварних з'єднань, за складністю яких визначається придатність або непридатність конструкції до подальшої експлуатації.

Виправленню підлягають всі зварні шви, що мають виявлені після проведення візуального і вимірального контролю або після неруйнівного контролю зварних з'єднань фізичними методами такі неприпустимі дефекти:

а) невідповідність форми і розмірів зварних швів вимогам стандартів, технічних умов або креслень на виріб;

- б) тріщини, пропали, підрізи, непровари, свищі;
- в) поглиблення між валиками швів, що перевищують 2 мм;
- г) об'ємні дефекти округлої або подовженої форми (пори, шлакові включення) з максимальним розміром одиничного дефекту більше 4 мм і сумарною площею включень більше 50 мм<sup>2</sup> на кожні 100 мм довжини шва.

Ділянки зварних швів, які підлягають виправленню, позначаються фарбою або кольоровою крейдою.

Дефектні шви можуть виправлятися одним із таких способів:

- механічним без подальшого заварювання;
- заварюванням дефектних ділянок;
- частковим або повним видаленням дефектних швів з наступним заварюванням місця видалення дефекту.

Спосіб виправлення дефектів слід вибирати з урахуванням вимог нормативних документів зі зварювання конструкцій і технологічних карт зварювання.

**Виправлення дефектів механічним зачищенням.** Скорочення (або зменшення) перерізу після оброблення зварних з'єднань абразивним інструментом (поглиблення в основний метал) не повинно перевищувати 1 мм на металі товщиною до 25 мм і 4 % від початкової товщини на металі товщиною понад 25 мм. При видаленні поверхневих дефектів з торця шва абразивним інструментом без подальшого підварювання допускається поглиблення з ухилом не більше 0,05 по вільній крайці в товщину металу на 0,02 ширини зварюваного елемента, але не більше ніж на 8 мм з кожного боку.

При цьому сумарне ослаблення перерізу (з урахуванням допустимого ослаблення по товщині) не повинно перевищувати 5 %. Після оброблення торців швів необхідно притупити гострі грані шляхом виконання фаски від 1,0 до 2,0 мм з округленням кутів абразивним інструментом.

Усі пропали поверхні основного металу зварювальною дугою слід зачищати абразивним інструментом на глибину від 0,5 до 0,7 мм, при цьому товщина основного металу не повинна бути менше, встановленої в НД.

Підрізи глибиною не більше 0,5 мм при товщині прокату до 20 мм і не більше 1 мм при товщині прокату понад 20 мм, а також місцеві підрізи довжиною до 20 % довжини шва слід виправляти зачисткою без подальшого заварювання з урахуванням вимог технологічної документації зі зварювання.

Напливи і неприпустиму опуклість швів слід обробляти абразивом.

**Виправлення дефектів заварюванням дефектних ділянок.** Виправлення шляхом часткового або повного видалення дефектного шва з подальшим заварюванням місця видалення дефекту (без повторного зварювання всього з'єднання) підлягають ділянки зварного шва зварних конструкцій, якщо розміри вибірки після видалення дефектної ділянки шва не перевищують граничних значень, зазначених в нормативних документах зі зварювання конструкцій.

Видалення дефектних ділянок швів повинно проводитися механічним способом: фрезеруванням, вирубуванням, обробленням шліфувальним кругом (допускається застосування плазмового, киснево-флюсового, повітряно-дугового різання із забезпеченням плавних переходів в місцях вибірок наступним зачищенням поверхні різання на глибину не менше 1 мм).

При видаленні механізованою зачисткою (абразивним інструментом) дефектів зварних з'єднань ризки на поверхні металу від абразиву мають бути спрямовані уздовж зварного з'єднання, при зачистці місць установлення початкових і вивідних планок – уздовж торцевих крайок елементів конструкцій, що зварюють, при видаленні посилення шва – під кутом 40...50° до осі шва. Ослаблення перерізу при обробленні зварних з'єднань (поглиблення в основний метал) не повинно перевищувати 3 % товщини зварюваного елемента, але не більше 1 мм.

Заварювання вибірок слід робити одним з допущених для цього металу способів зварювання з використанням зварювальних матеріалів, що застосовуються для зварювання цього виробу.

За наявності дефектів, що потребують двостороннього вирубування, допускається виправлення дефектної ділянки проводити послідовно – спочатку вирубування і заварювання виконувати з одного боку, потім – зі зворотного.

Виправлення дефектів без заварювання місць їх вибірки допускається у разі збереження мінімально допустимої товщини стінки деталі в місці максимальної глибини вибірки, зачеканення не допускається.

Якість підготовки під заварювання ділянок, на яких вилучені дефекти, до їх заварювання перевіряються працівником ОТК і виробничим майстром з метою виявлення дефектів.

При виявленні в звареному шві тріщини визначають її протяжність і глибину. Її кінці повинні бути визначені шляхом травлення або капілярним методом і засвердлені з роззенкуванням свердлом діаметром 2...4 мм, з припуском до 15 мм з кожного кінця тріщини. Потім на ділянці з тріщиною виконують V-подібне або X-подібне оброблення крайок з кутом розкриття 60...70°, при цьому слід проконтролювати повноту видалення тріщини проникаючими речовинами (капілярним контролем) і виконати повторне заварювання з дотриманням зварювальної технології та діючих нормативів. Оброблення проводиться за допомогою пневматичного зубила, повітряно-дугового або газового різачка.

При наскрізній тріщині для зручності подальшого заварювання вибірки доцільно залишати шар металу товщиною 2...2,5 мм як підкладку нового шва. Заварювання в цьому випадку потрібно починати з переплавлення решти металу з тріщиною, причому зварник повинен стежити за повним розплавленням підкладки: якщо перед електродом переміщується маленький наскрізний отвір, то це означає, що зварювання йде з повним проваром. Шви з внутрішніми тріщинами вирубують і заварюють заново.

За наявності сітки тріщин дефектну ділянку вирізають і замість зварювання накладають латку.

Виправлення занижених розмірів зварних швів (неповномірні шви, незаплавлені кратери) проводиться шляхом додаткового наплавлення валиків на попередньо незаповнену поверхню раніше виконаного шва. Зварювання необхідно проводити із застосуванням електродів мінімального діаметра.

Виправлення завищених розмірів зварних швів проводиться шляхом місцевого відшліфовування або місцевої підрубки пневматичним зубилом з подальшою зачисткою наждаковим каменем для забезпечення плавних переходів швів до основного металу.

Напливи і натікання зварних швів у місцях переходу до основного металу повинні виправлятися обпилюванням, відшліфовуванням або місцевим підрублюванням з подальшою зачисткою наждаковим каменем для отримання плавного переходу від шва до основного металу.

Підрізи і заглиблення між валиками швів глибиною понад 0,5 мм при товщині прокату до 20 мм і більше – 1 мм, при товщині прокату понад 20 мм, а також місцеві подрізи довжиною понад 20 % довжини шва слід виправляти зачисткою металу шва і основного металу, прилеглого до шва, з подальшим наплавленням ниткових валиків шириною не більше 3,0 мм по всій лінії подрізу з подальшою зачисткою, що забезпечує плавний перехід від наплавленого металу до основного.

Виправлення зварних швів з газовими порами, жужільними включеннями проводиться шляхом видалення дефектної ділянки з подальшим заварюванням. У разі, якщо газові пори, шлакові включення поширюються по всьому перерізу шва, дефектна ділянка зварного шва видаляється повністю з утворенням нормального кута розкриття  $55...70^{\circ}$  під заварювання.

У тому випадку, коли дефекти виявлені в деталях, які пройшли термічну обробку (якщо це передбачено технічними вимогами), проводиться повторна термообробка після ремонту дефектних ділянок шва.

Виправлені ділянки незалежно від методів і обсягів контролю, яким піддаються такі ж бездефектні зварні з'єднання, повинні бути проконтрольовані шляхом зовнішнього огляду і магнітопорошкової або капілярної дефектоскопії або травленням вибірки, що не піддавалася подальшому заварюванню.

**Виправлення деформованих конструкцій.** Залишкові деформації звареної конструкції, спричинені в процесі транспортування і після зварювання, що перевищують значення, встановлені в нормативних документах зі зварювання конструкцій, слід виправляти механічною, термічною і термомеханічною правкою відповідно до технологічної документації.

Правку виконують тільки для тих елементів конструкції, для яких правка допустима.



У процесі виправлення неприпустимо утворення вм'ятин і пошкоджень поверхні металу (у заводських умовах механічну правку після зварювання виконують у валках і станах для виправлення грибоподібності).

Термічну і термомеханічну правку слід виконувати місцевим нагріванням металу до температури, зазначеної в технологічній документації.

Термомеханічну правку складних форм деформацій із застосуванням статичних навантажень (створюваних навантаженням, домкратами, розпирками) виконують при температурі нагріву місць деформації 650...700 °С. Охолодження металу в процесі правки нижче 600 °С не допускається.

Забороняється охолоджувати нагрітий при правці метал водою або обдуванням стисненим повітрям.

Після виправлення конструкції має бути проведений візуальний і вимірвальний контроль зварних з'єднань на відсутність тріщин.

## **2. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ**

Якість продукції є сукупність властивостей продукції, що зумовлюють її придатність задовольняти певні потреби відповідно до її призначення. Якість зварних виробів залежить від відповідності матеріалу технічним умовам, стану обладнання і оснащення, правильності і рівня відпрацювання технологічної документації, дотримання технологічної дисципліни, а також кваліфікації працюючих. Забезпечити високі технічні та експлуатаційні властивості виробів можна тільки за умови точного виконання технологічних процесів і їх стабільності. Особливу роль тут відіграють різні способи об'єктивного контролю як виробничих процесів, так і готових виробів.

Основні види контролю класифікують за формою впливу на виробництво: активний і пасивний, за обсягом продукції: суцільний і вибірковий, за місцем проведення: стаціонарний і рухомий.

Контроль якості зварних швів призначається залежно від технічних вимог, що ставляться до зварних з'єднань, і може здійснюватися без руйнування швів і з їх руйнуванням.

До руйнівних випробувань належать: випробування з метою визначення механічних властивостей зварних з'єднань, аналізу хімічного складу, мікроструктури зварного шва, виявлення мікропор, мікротріщин, включень окисів та інших забруднень у шві, випробування на корозійну стійкість. Ці випробування зазвичай проводяться на вибіркових натурних зразках або на спеціальних виробах, підготовлених для випробувань і виготовлених за стандартною технологією.

Неруйнівні випробування непрямым чином характеризують показники працездатності зварних виробів, їх часто називають фізичними методами контролю. Усі дефекти спричиняють змінення однієї або декількох фізичних характеристик металів і їх сплавів – щільності, електропровідності, магнітної проникності, пружних властивостей тощо.

Фізичною основою методів неруйнівного контролю є дослідження змін характеристик металів і виявлення дефектів, що є причиною цих змін. Методи неруйнівного контролю відповідно до ДСТУ EN 12062: 2005 класифікують на такі види: візуально-вимірювальний, акустичний, магнітний, оптичний, капілярний, течошуканням, радіаційний, радіохвильовий, тепловий, електричний, електромагнітний вихровими струмами.

Види неруйнівного контролю – це умовне угруповання методів, об'єднане спільністю фізичних характеристик. Основні методи неруйнівного контролю зварних з'єднань подано на рис. 2.1.

**Акустичні методи** – метод відбитого випромінювання (ехо-метод), проникаючого випромінювання, вільних коливань, акустико-емісійний, резонансний. Базуються на зміні характеру поширення хвиль (звукових і ультразвукових) у зварних швах при поздовжньо-поперечному скануванні шукачем контрольованої ділянки (реєстрація пружних коливань, порушуваних у контрольованому об'єкті). Застосовують для виявлення поверхневих і внутрішніх дефектів у будь-яких матеріалах, окрім грубозернистих стикових і напускних швів (тріщини, порожнечі, пори, непровари, розшарування, непропаї і т. ін.).

Акустичні методи дозволяють вимірювати геометричні параметри при однобічному доступі до виробу. УЗД (ультразвукова дефектоскопія) – контроль внутрішніх і поверхневих несучільностей.

**Магнітні методи** (магнітопорошковий, магнітографічний, магнітоіндукційний, ферозондові). Ґрунтуються на реєстрації магнітних полів розсіювання над дефектами або магнітними властивостями контрольованого об'єкта. Застосовують для виявлення поверхневих і підповерхневих (на глибині 2...3 мм) дефектів типу тріщин, непроварів, дірчастості тощо у виробках, виготовлених з феромагнітних матеріалів.

**Оптичні методи** (візуальний, візуально-оптичний). Огляд виробу неозброєним оком або із застосуванням оптичних засобів (лупи, мікроскопа, перископічних оптичних пристроїв тощо. У поєднанні з вимірюваннями дозволяє перевірити якість поверхні, нерівномірність шва і невідповідність його геометрії вимогам креслення, наявність подрізів, пор, тріщин, раковин, свищів та інших зовнішніх дефектів.

Оптичні методи базуються на взаємодії світлового випромінювання з контрольованим об'єктом. За характером взаємодії розрізняють методи наскрізного, відбитого, розсіяного та індукційного випромінювання (останній термін означає оптичне випромінювання об'єкта під дією зовнішнього впливу, наприклад, люмінесценцією). Оптичні методи широко застосовують у зв'язку з великою різноманітністю способів одержання первинної інформації (амплітуда, фаза, ступінь поляризації, частота або частотний спектр, час проходження світла через об'єкт, геометрія переломлення та відбиття випромінювання).

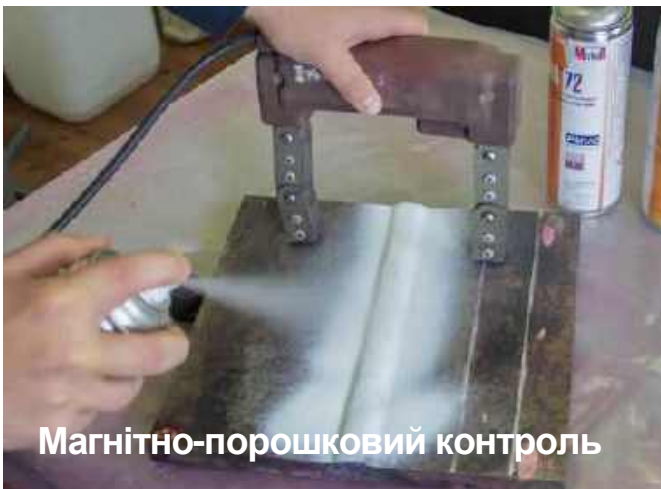
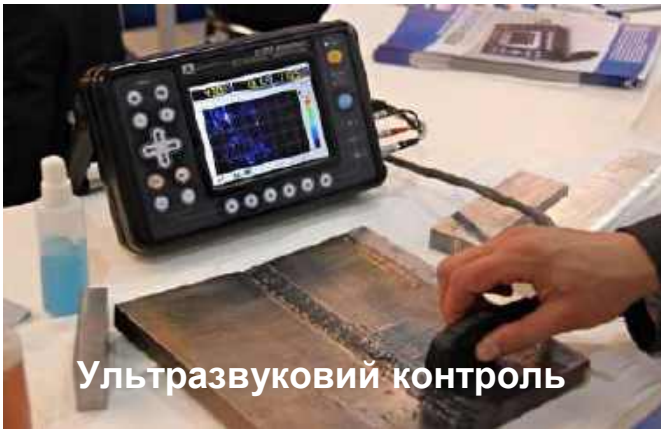


Рис. 2.1. Неруйнівний контроль виготовлення зварних з'єднань

**Капілярні методи** (кольоровий, люмінесцентний, люмінесцентно-світловий, люмінесцентно-кольоровий, фільтрувальних частинок, радіоактивних рідин тощо). Капілярні методи контролю застосовуються для виявлення поверхневих несучільностей в будь-яких матеріалах і з'єднаннях (тріщин, свищів, розшарувань тощо).

Вони основані на капілярному проникненні індикаторних рідин у порожнину поверхневих дефектів. При цьому методі контролю на очищену поверхню деталі наносять проникаючу рідину, що заповнює порожнини поверхневих дефектів. Потім рідину видаляють, а частину, що залишилася у порожнинах дефектів, виявляють нанесенням проявника, який утворює індикаторний рисунок.

**Методи течешування.** Ґрунтуються на реєстрації індикаторних рідин і газів, що проникають у наскрізні несучільності в будь-яких матеріалах і з'єднаннях контрольованого об'єкта. Застосовують для визначення герметичності працюючих під тиском зварних посудин, балонів, трубопроводів тощо (гідравлічне обпресовування, аміачно-індикаторний метод, контроль за допомогою гелієвого і галоїдного течешукачів).

**Радіаційні методи** (радіографічний, радіоскопічний, радіометричний, ксерорадіографічний). Основані на реєстрації і аналізі проникаючого іонізуючого випромінювання. Проникаюче випромінювання (рентгенівське, гама, потоки нейтронів), проходячи крізь товщу виробу, по різному послабляється в дефектній і бездефектній областях і несе інформацію про внутрішню будову речовини та наявність дефектів всередині контрольованих об'єктів.

Як джерело подібних випромінювань застосовують рентгенівські апарати, що дозволяють отримати гальмівне (рентгенівське) випромінювання, різного типу прискорювачі (прискорювачі електронів, бетатронів). Радіаційний контроль призначено для виявлення об'ємних внутрішніх і поверхневих несучільностей в будь-яких матеріалах у стикових швах (пор, шлакових включень, непроварів і тріщин).

**Радіохвильові методи.** Базуються на реєстрації зміни параметрів електромагнітних хвиль радіодіапазону, взаємодіючих з контрольованим об'єктом. Зазвичай застосовують хвилі надвисокочастотного (НВЧ) діапазону довжиною 1...100 мм для контролю діелектриків, магнітодіелектриків, напівпровідників і тонкостінних металевих об'єктів (де радіохвилі не дуже сильно згасають).

**Теплові методи.** Основані на реєстрації змін теплових або температурних полів контрольованого об'єкта. За характером взаємодії з об'єктом контролю розрізняють пасивний (на об'єкт не впливає зовнішнє джерело) і активний методи (об'єкт нагрівають або охолоджують від зовнішнього джерела). Вимірюваним інформаційним параметром є температура або тепловий потік.

**Електричні методи.** Базуються на реєстрації параметрів електричного поля, яке взаємодіє з контрольованим об'єктом (електричний метод), або поля, що виникає в контрольованому об'єкті в результаті зовнішнього впливу (електричний метод). Первинними інформаційними параметрами є електричні ємність або потенціал. Товщину провідного шару, наявність несучільностей поблизу поверхонь провідника контролюють, вимірюючи зменшення потенціалу на деякій ділянці. Електричний струм огинає поверхневий дефект, за збільшенням спаду потенціалу на ділянці з дефектом визначають глибину несучільності з похибкою в **декілька** процентів.

**Електромагнітний метод вихрових струмів.** Оснований на реєстрації змін взаємодії електромагнітного поля котушки з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться цією котушкою в контрольованому об'єкті.

### Практична робота № 1

## ВІЗУАЛЬНИЙ І ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Мета роботи:** ознайомитися з методикою проведення візуального і вимірювального контролю; визначити його особливості; провести контроль зварних зразків; вказати причини утворення дефектів і засоби їх усунення.

### Теоретичні відомості

Візуальний і вимірювальний контроль деталей і елементів зварних вузлів виконують для визначення відповідності якості їх виготовлення (дод. 1, 2, 3) вимогам виробничо-технологічної та нормативної технічної документації, а також технічним умовам (ДСТУ ISO 17637-2003).

Візуальний контроль – це єдиний неруйнівний контроль, що є обов'язковим для всіх виробництв й об'єктів, що експлуатуються і який може виконуватися за допомогою найпростіших вимірювальних засобів.

При візуальному контролі застосовують:

- лупи, у тому числі вимірювальні;
- лінійки вимірювальні металеві;
- перевірні косинці ( 90 град, лекальні);
- штангенциркулі;
- щупи;
- кутоміри з ноніусом;
- мікрометри;
- калібри;
- ендоскопи;
- шаблони, у тому числі спеціальні й радіусні, нарізні тощо;
- перевірні плити;
- штрихові міри довжини (сталеві вимірювальні лінійки, рулетки).

Допускається застосування інших засобів візуального й вимірювального контролю за наявності відповідних інструкцій, методик їхнього застосування.

Візуальний і вимірювальний контроль виготовлення зварних конструкцій виконують на етапах:

- вхідного контролю основних матеріалів, виробів, деталей, напівфабрикатів або заготовок;
- виготовлення деталей, складальних одиниць і виробів;
- підготовки деталей і складальних одиниць до складання;
- підготовки деталей і складальних одиниць до зварювання та наплавлення;
- складання деталей і складальних одиниць під зварювання та наплавлення;
- процесу зварювання та наплавлення;
- приймального контролю зварних з'єднань та наплавлених виробів (у тому числі після термічної обробки);
- виправлення дефектних ділянок у матеріалі й зварених з'єднаннях;
- контролю якості усунення дефектів зварного з'єднання та основного металу, виявлених будь-яким методом неруйнівного контролю;
- оцінювання стану матеріалу й зварних з'єднань у процесі експлуатації зварних з'єднань, в тому числі після закінчення встановленого строку їхньої експлуатації.

Візуальний огляд у багатьох випадках достатньо інформативний, найбільш дешевий і оперативний метод контролю.

**Вхідний контроль основних матеріалів, виробів, деталей, напівфабрикатів або заготовок.** Під час виконання візуального та вимірювального контролю якості виробів, матеріалів, напівфабрикатів, деталей, заготовок, що призначаються для виготовлення зварних з'єднань, визначають:

- наявність маркування заводу-виробника матеріалів;
- відсутність (або наявність) поверхневих дефектів (тріщин, відшарувань, розривів, раковин, плен, волосовин, забоїв та інших дефектів виготовлення матеріалів, а також пошкоджень, які виникли при транспортуванні та складанні деталей (корозія, деформування тощо);
- відповідність розмірів виробів, матеріалів, напівфабрикатів, деталей, заготовок вимогам виробничій конструкторсько-технологічній документації (надалі ВКТД) і нормативно технічній документації (надалі НД);
- відповідність геометричної форми крайок деталей, підготовлених під зварювання, вимогам ВКТД і НД;
- відсутність (або наявність і розміри) у виробках, напівфабрикатах, що містять зварні шви, поверхневих дефектів зварювання (наплавлення): тріщин, пор, свищів, підрізів, пропалювань тощо;



– відповідність вимогам ВКТД і НД розмірів зварного шва (наплавлення) і дефектів, що виявлені.

**Візуальний і вимірвальний контроль підготовки деталей і складальних одиниць до складання.** На етапі підготовки деталей і складальних одиниць до складання визначають якість підготовки крайок під зварювання і складання заготовок, для цього проводять перевірку:

– маркування і (або) документації, яка підтверджує приймання напівфабрикатів, деталей, складальних одиниць і виробів при вхідному контролі (табл. Д.1.1);

– маркування виробника матеріалу на деталях, підготовлених під зварювання;

– геометричних параметрів оброблення крайок: зазор між крайками, притуплення і кут розкриття розробки (для стикових швів); ширина напуску і зазор між листами (для з'єднань внапуск); кут і зазор між деталями, що зварюють, притуплення і кут скосу крайок (для таврових з'єднань); зазор між деталями, що зварюють, і кут між ними (для кутових з'єднань);

– розмірів підкладних пластин (кілець) вставок, що розплавляють:

– товщини і ширини підкладки в замковому з'єднанні;

– ширини зони механічної зачистки поверхонь деталі і місця розніму підкладної пластини (кільця), що залишається;

– чистоти крайок (відсутність візуально спостережуваних забруднень, пилу, продуктів корозії, вологи, масла тощо );

– відповідності зазорів допустимим значенням тощо

**Візуальний та вимірвальний контроль якості складання деталей під зварювання.** Під час складання деталей під зварювання контролюють відповідність вимогам ВКТД:

– установлення тимчасових технологічних кріплень;

– кріплення деталей у складальних пристроях;

– установлення підкладних пластин (кілець, вставок, що розплавляються);

– взаємне розташування деталей у складанні;

– встановлення пристроїв для подачі захисного газу;

– нанесення активуючого флюсу та захисної флюс-пасти;

– наявність і відповідність захисного покриття від бризок розплавленого металу поверхонь деталей з аустенітних сталей;

– відсутність забруднень на крайках і прилеглих до них поверхонь деталей у складанні під зварювання.

**Вимірвальний контроль складання деталей під зварювання** (табл. Д.1.2) містить перевірку відповідності вимогам ВКТД:

– величини зазору між деталями, що складаються, між деталлю і підкладною пластиною або кільцем, у замку вставки, що розплавляється;



- величини лінійного зміщення крайок (зовнішнього і внутрішнього) в з'єднанні;
- величини кутового зміщення осей циліндричних деталей і поверхонь плоских деталей;
- величини відхилення від перпендикулярності осей патрубків (штуцера, врізання) і труби (корпусу, стінки) і поверхонь плоских деталей;
- величини зміщення осей патрубків (штуцера, врізання) і отвору в трубі (корпусі, стінці);
- величини зміщення поздовжніх швів, що перетинаються, при складанні труб та інших елементів із поздовжніми швами;
- розмірів (довжини і висоти) прихваток відстані між ними, розмірів дефектів у прихватах;
- відстані від складання під зварювання до опори;
- розмірів швів приварювання тимчасових технологічних кріплень, відстані технологічних кріплень від крайки і відстані між сусідніми кріпленнями;
- ширини зони нанесення захисного покриття на поверхні деталей;
- лінійних розмірів вузла, складеного під зварювання;
- перекриття деталей при з'єднанні внапуск.

**Спостереження за процесом зварювання.** При перевірці технології зварювання залежно від вибраного методу зварювання контролюється ціла низка показників (дод. 3):

- марка і діаметр електрода, прийоми роботи (при ручному зварюванні);
- швидкість зварювання, марка і діаметр присадного дроту (при механізованому зварюванні);
- марка флюсу і вид захисних газів, род зварювального струму, його значення, напруга й полярність (при зварюванні на постійному струмі);
- виліт електрода, кількість валиків у зварному шві та черговість їх накладання, режими термічної обробки.

**Візуальний та вимірювальний контроль зварних з'єднань.** У готового зварного з'єднання візуально контролюють:

- наявність деформацій;
- наявність (відсутність) поверхневих дефектів (тріщин, підрізів, свищів, пропалів, непроварів (кореня і крайок);
- наявність (відсутність) напливів, кратерів, пор, раковин та інших несучільностей) і дефектів форми швів, перевірки геометричних параметрів зварних швів й допустимості виявлених дефектів;
- якість очищення металу після видалення тимчасових технологічних кріплень;
- якість очищення поверхні зварного шва та прилеглих ділянок основного металу для забезпечення можливості наступного контролю неруйнівними методами, якщо такий передбачено;
- наявність маркування (клейма) шва і правильність його виконання.

При візуальному контролі зварних з'єднань контрольована зона повинна містити поверхню металу шва, а також зону основного металу, що примикає до нього по обидва боки від шва шириною:

- не менше 5 мм – для стикових з'єднань, виконаних дуговим і електронно-променевим зварюванням, зварюванням оплавленням при номінальній товщині зварних деталей до 5 мм включно;

- не менше номінальної товщини стінки деталі – для стикових з'єднань, виконаних дуговим і електронно-променевим зварюванням, зварюванням оплавленням при номінальній товщині зварних деталей від понад 5 до 20 мм;

- не менше 20 мм – для стикових з'єднань, виконаних дуговим і електронно-променевим зварюванням, зварюванням оплавленням, при номінальній товщині зварених деталей понад 20 мм, а також для стикових і кутових з'єднань, виконаних газовим зварюванням, незалежно від номінальної товщини стінки зварених деталей і при ремонті дефектних ділянок у зварених з'єднаннях.

У готового зварного з'єднання вимірювальному контролю підлягають (табл. Д.1.3):

- розміри поверхневих дефектів (пор, включень та ін.), виявлених при візуальному контролі;

- висота і ширина шва, а також увігнутість і опуклість зворотного боку шва у разі доступності цього боку для контролю;

- глибина западин між валиками шва;

- глибина і довжина підрізів зони сплавлення;

- катет кутового шва (у тавровому з'єднанні).

**Візуальний та вимірювальний контроль якості виправлення дефектів зварного з'єднання.** У процесі виправлення дефектів візуальним і вимірювальним контролем визначають:

- повноту вилучення дефектів шляхом усунення дефектної ділянки зварного з'єднання;

- відповідність вимогам ВКТД щодо геометричних параметрів підготовки під зварювання крайок вибірки;

- відповідність вимогам ВКТД щодо чистоти і шорсткості поверхонь крайок вибірки;

- відповідність вимогам ВКТД щодо розмірів зварного шва після відновлення зварюванням дефектної ділянки;

- відсутність (наявність і розміри) поверхневих дефектів зварювання відновленої ділянки.

Порядок виправлення дефектів зварного з'єднання визначається технологічною інструкцією з урахуванням типорозміру і матеріалу зварного з'єднання.

**Візуальний та вимірвальний контроль якості зварних з'єднань під час експлуатації та технічного діагностування виробів** виконують для визначення відповідності виявлених пошкоджень, деформованих ділянок, зносу елементів тощо вимогам ВКТД і НД (табл. Д.1.4).

Під час візуального контролю матеріалу і зварних з'єднань (що утворилися або розвинулись у процесі експлуатації) перевіряють:

- відсутність корозійного зносу поверхні виробу;
- відсутність (наявність) механічних пошкоджень поверхні виробу.

Під час вимірвального контролю визначають:

- розміри механічних пошкоджень матеріалу і зварних з'єднань;
- розміри деформованих ділянок матеріалу і зварних з'єднань (довжину, ширину, глибину вмивань, випинань);
- овальність циліндричних елементів (у тому числі вигинів труб);
- фактичну товщину стінки матеріалу (за можливості проведення прямих вимірів);
- глибину корозійних дефектів і розміри зон корозійного пошкодження.

### **Технічні засоби візуального та вимірвального контролю та їх характеристики**

Універсальний шаблон зварника УШС-3 (рис. 2.2) призначений для контролю елементів оброблення під зварний шов, електродів та елементів зварного шва.

Універсальний шаблон зварника складається з основи 1, з'єднаної віссю 4 з движком 3 і закріпленого на движку покажчика 2.

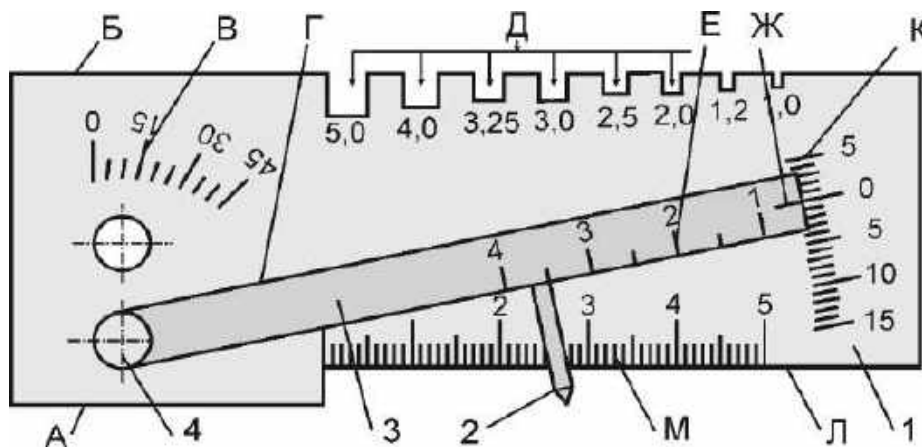


Рис. 2.2. Універсальний шаблон зварника УШС-3:

- 1 – основа; 2 – движок; 3 – покажчик; 4 – вісь; А, Б, Г – установчі площини; В – шкала для вимірювання кутів скосу крайок; Д – пази для вимірювання діаметрів електродів, дроту; Е – шкала для вимірювання величини зазору; Ж – риска-індекс для зняття показань за шкалою К; К – шкала для вимірювання висоти посилення шва; Л – поздовжнє ребро лінійки зі шкалою М для вимірювання величин притуплення і ширини шва

## Технічні дані

Діапазон контролю глибини раковин, вибоїн на поверхні деталей зварного з'єднання (шкала К), мм .....	0...15
Діапазон контролю кутів скосу крайок (шкала В), град .....	0...45
Діапазон контролю величини притуплення (шкала М), мм .....	0...50
Діапазон контролю величини зазору (шкала Е), мм .....	0,5...4
Контроль перевищення крайок при складанні (шкала К), мм .....	0...15
Діапазон контролю глибини оброблення стику до кореневого шару (шкала К), мм .....	0...5
Діапазон контролю незбіжності крайок по висоті після зварювання (шкала К), мм .....	0...15
Діапазон контролю ширини зварного шва (шкала М), мм .....	0...50
Діапазон контролю висоти посилення зварного шва (шкала К), мм .....	0... 5
Контрольовані значення діаметрів електрода зварювального дроту (шкала Д), мм .....	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,25; 4,0; 5,0

### Порядок виконання роботи

1. *Вимірювання* глибини раковин, глибини вибоїн, незбіжності крайок по висоті, глибини оброблення стику до кореневого шару і висоти посилення шва виконують при установленні шаблона поверхню А на виріб (рис. 2.3).

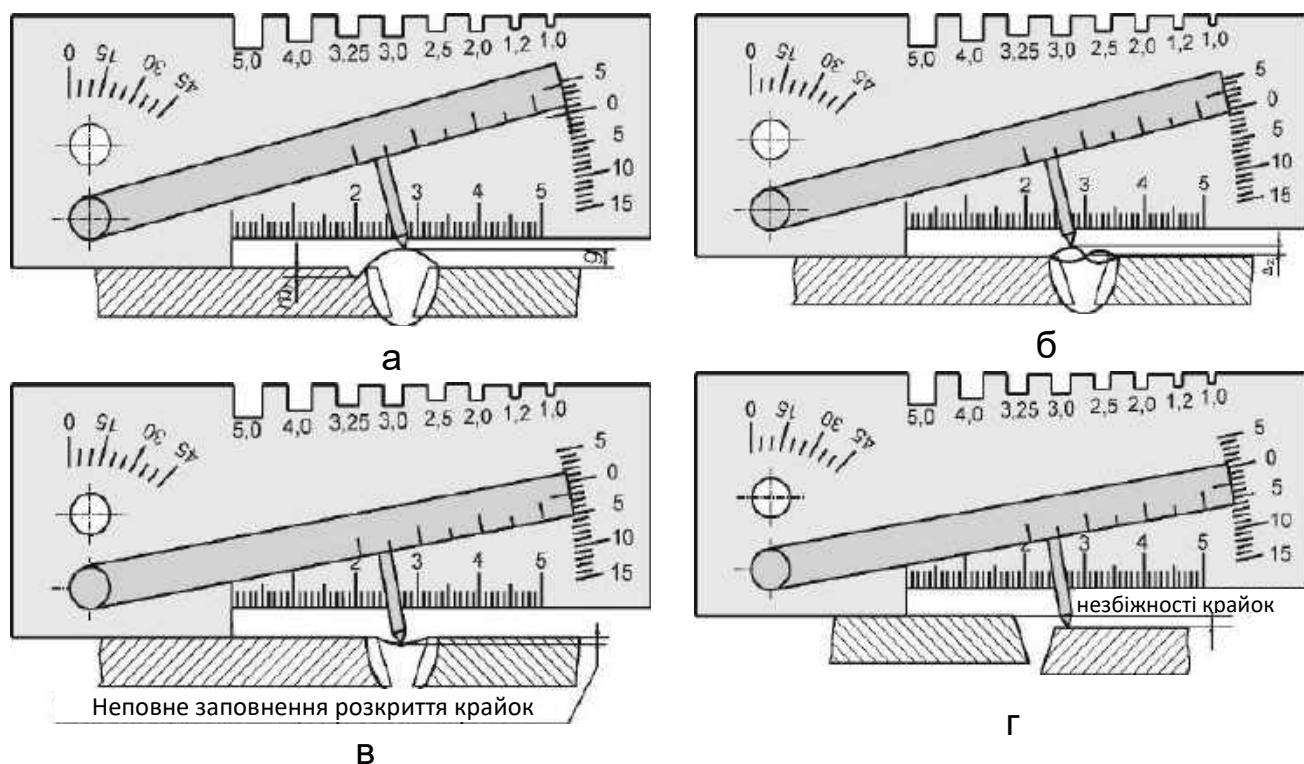


Рис. 2.3. Схема вимірювання: висоти посилення (а), лускатості (б), глибини неповного заповнення розкриття крайок (в), перевищення крайок (г)

Потім поворотом движка 3 навколо осі 4 необхідно ввести покажчик 2 у зіткнення з вимірюваною поверхнею. Результат зчитується проти риски Ж за шкалою К.

2. *Вимірювання притуплення, ширини шва* проводиться при використанні шкали М як вимірювальної лінійки (рис. 2.4).

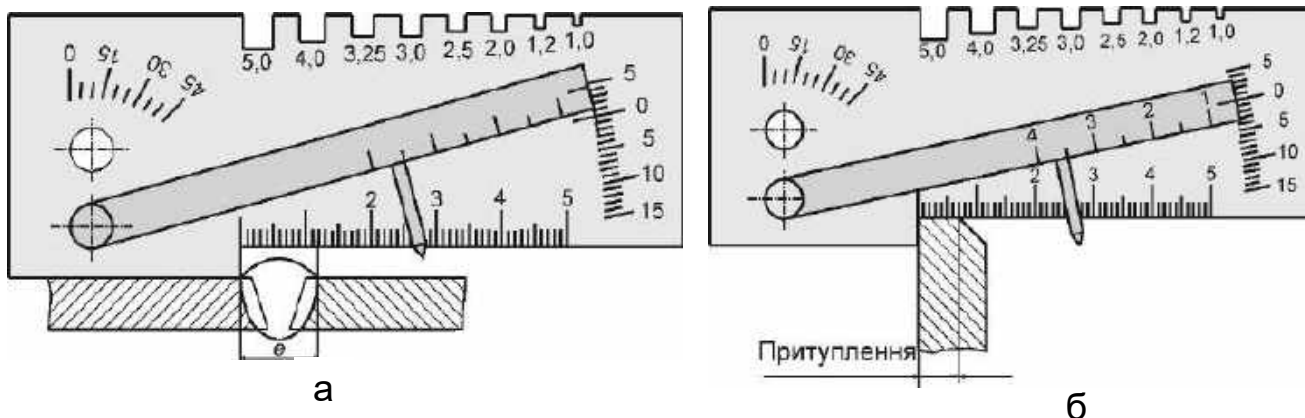


Рис. 2.4. Схема вимірювання: а – ширини шва; б – притуплення крайки

3. *Вимірювання кутів скосу крайок* здійснюється при установленні шаблона поверхню Б на поверхню виробу.

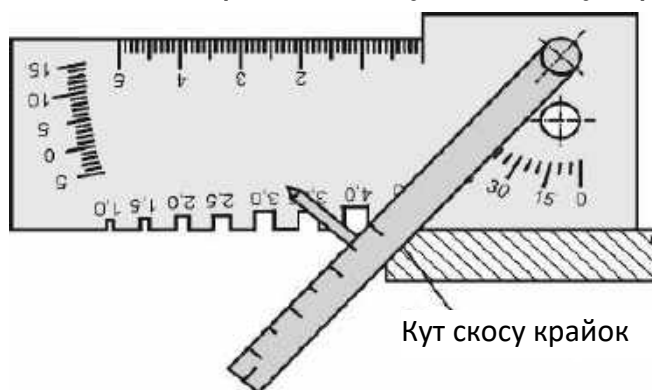


Рис. 2.5. Схема вимірювання кутів скосу крайок

Потім поворотом движка поверхню Г поєднують з вимірюваною поверхнею. Результат зчитується за шкалою В проти поверхні движка Г (рис. 2.5).

4. *Контроль зазору* проводиться введенням движка 2 його клиновою частиною в контрольований зазор. За шкалою Е, нанесеною на движку, зчитується результат.

5. *Визначення діаметрів дроту* проводиться за допомогою пазів Д.

**Універсальний шаблон зварника конструкції В. Е. Ушєрова-Маршака** (у деяких джерелах КТ-20, WG-3, Ластівка) призначено для вимірювання скосу крайок при підготовці деталей до зварювання, вимірювання висоти валика посилення і катета кутового шва, а також опуклості кореня шва і вимірювання зазорів при підготовці деталей до зварювання.

#### Технічні дані

Матеріал..... нержавіюча сталь  
 Діапазон вимірювання, мм. ....0...20  
 Точність, мм ..... 0,1  
 Кут скосу крайки (4 кути підготовки), ° .....60, 70, 80, 90

Шаблон складається з основи оригінальної конструкції, а також вимірювальної частини, що рухається всередині нього (рис. 2.6).

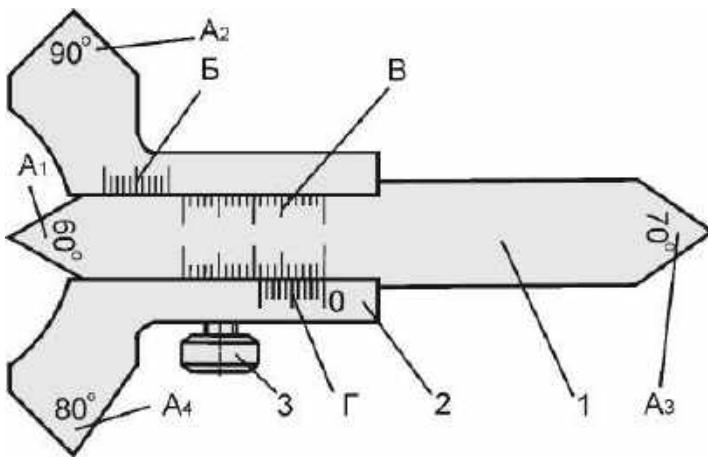


Рис. 2.6. Універсальний шаблон зварника конструкції В. Е. Ушерова-Маршака: 1 – вимірювальний движок; 2 – рамка; 3 – стопорний пристрій; В – вимірювальна шкала; А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, А<sub>3</sub>, А<sub>4</sub> – контрольні кути; В, Г – ноніуси шкали (В)

Пристрій може вимірювати кут скосу крайки за допомогою чотирьох шаблонів у діапазоні 60...90 градусів, а також використовуватися для дослідження неспіввідношення розміру і ширини шва зварного з'єднання.

Для забезпечення можливості вимірювання таврових з'єднань кінці вимірювальної частини, що рухається, виконано загостреними. Для фіксації результатів і їх візуального зчитування шаблон обладнаний фіксувальним гвинтом, що значно підвищує зручність роботи.

Практичні рекомендації щодо використання універсального шаблону зварника конструкції В. Е. Ушерова-Маршака показано на рис. 2.7, 2.8.

Практичні рекомендації щодо використання універсального шаблону зварника конструкції В. Е. Ушерова-Маршака показано на рис. 2.7, 2.8.

**Індикатор годинникового типу ИЧ** з ціною поділки 0,01 мм призначено для вимірювання лінійних розмірів абсолютним і відносним методами, визначення величини відхилень від заданої геометричної форми і взаємного розташування поверхонь (рис. 2.9).

#### Технічні дані

Діапазон вимірювань, мм .....	0...1
Ціна поділки, мм.....	0,001
Похибка, мм.....	0,006
Найбільше вимірювальне зусилля, Н.....	1,5 ± 0,6
Коливання вимірювального зусилля при зміні напрямку руху вимірювального стрижня, Н, не більше.....	0,55

#### Підготовка до виконання роботи

1. Ознайомитися перед початком роботи з настановою на індикатор щодо експлуатації.
2. Видалити мастило з вимірювального наконечника індикатора тканиною, змоченою в бензині, і протерти його чистою сухою тканиною.
3. Закріпити індикатор в штативі в робочому положенні відносно контрольованого виробу.

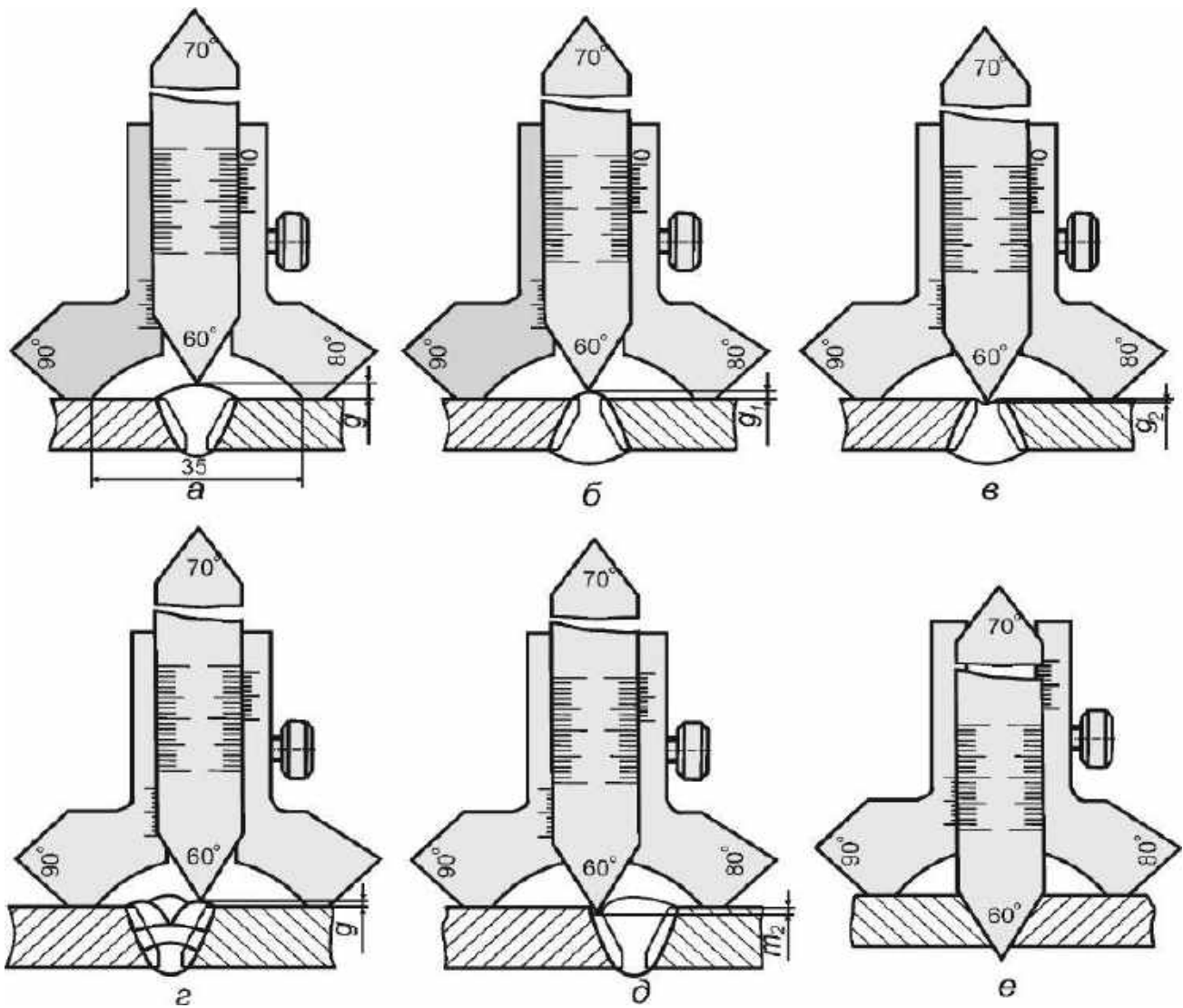


Рис. 2.7. Схема вимірювання: а – висоти посилення лицьової сторони шва; б – висоти посилення зворотної сторони; в – увігнутості; г – лускатості; д – глибини западання; е – кута розкриття крайок

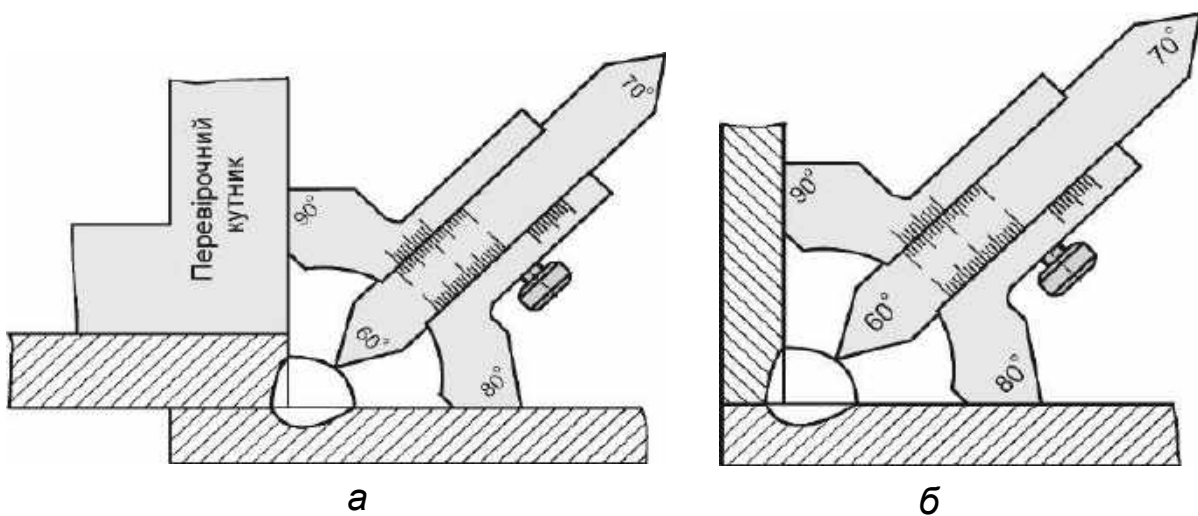


Рис. 2.8. Схема вимірювання висоти кутового шва: а – з'єднання внапуск; б – кутового з'єднання



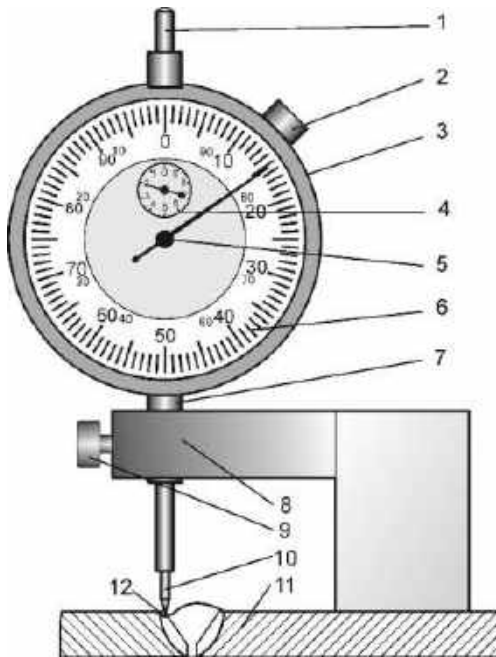


Рис. 2.9. Схема вимірювання підрізу за допомогою індикатора годинникового типу ИЧ: 1 – головка вимірювального стрижня; 2 – стопор; 3 – ободок; 4 – показник кількості обертів; 5 – стрілка; 6 – циферблат; 7 – гільза; 8 – штатив; 9 – гвинт; 10 – наконечник; 11 – виріб що контролюють; 12 – підріз

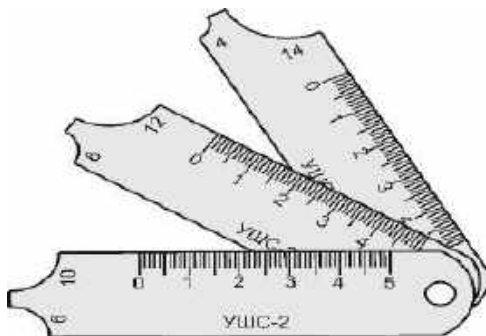


Рис. 2.10. Універсальний шаблон зварника УШС-2

на шаблона і перемичка між катетами шаблона прилягають до деталей без видимого зазору, а зазор між дугами шаблона і шва є мінімальним. При розбіжності з жодним з шаблонів розмірів у зазначеному діапазоні значення катета визначається емпіричним шляхом.

## Порядок виконання роботи

1. Перевірити нульове установлення. Забезпечити вимірювальному стрижню натяг 20...25 поділок (або до одного оберту стрілки на основній шкалі), сумістити нульовий штрих шкали зі стрілкою. Для точного установлення нуля скористатися обертанням шкали індикатора відносно стрілки за допомогою обідка з насічкою. Фіксувати точне нульове установлення за допомогою стопора (ліворуч або праворуч від аретира на боковій поверхні індикатора).

2. Перевірити постійність показань нульового установлення індикатора за допомогою 4 – 5-кратного переміщення наконечника.

3. Протерти деталь, яка вимірюється, чистою м'якою тканиною.

Вимірювальний стрижень повинен переміщуватися без ударів в кінці ходу.

**Універсальний шаблон зварника УШС-2 (катетометр)** призначено для контролю катетів кутових швів у діапазоні 4...14 мм. Шаблон зварника УШС-2 складається з трьох шаблонів і одного з'єднувального кільця (рис. 2.10).

Метод контролю зовнішнім оглядом і вимірюваннями. Контроль проводиться ступінчастим методом визначення зазору до мінімального. Кожен з шаблонів має точно виконані виточки певного катета. Для зручності контролю поряд з кожним виточенням вибито розмір відповідного радіуса катета шва. Контроль катета зварного шва проводиться шляхом послідовного зіткнення (підбору) шаблонів зі з'єднаними зварюванням деталями. Розмір вважається встановленим, якщо довга сторона



## Технічні дані

Діапазон контрольованих катетів кутового зварного шва, мм ...	4...14
Вид контролю .....	ступеневий
Кількість ступенів контролю .....	6
Контрольовані катети, мм.....	4,14; 8,10; 6,12
Точність виготовлення, мм.....	0,3

**Універсальний шаблон Красовського**, він же вимірювач плавності переходів або УШК-1, використовується для візуального і вимірювального контролю таврових, стикових і непускових зварних з'єднань, а також вимірювання зазору між крайками деталей, що зварюються, і висотою посилення шва (рис. 2.11).

### Технічні дані

Діапазон вимірювань (шкала А):	
висоти кутового шва, мм .....	0...15
Діапазон вимірювань (шкала Б):	
висоти посилення шва, мм .....	0...5
висоти опуклості кореня шва, мм..0...5	
зазору в з'єднаннях, мм .....	0...5
Точність вимірювання , мм .....	$\pm 0,5$

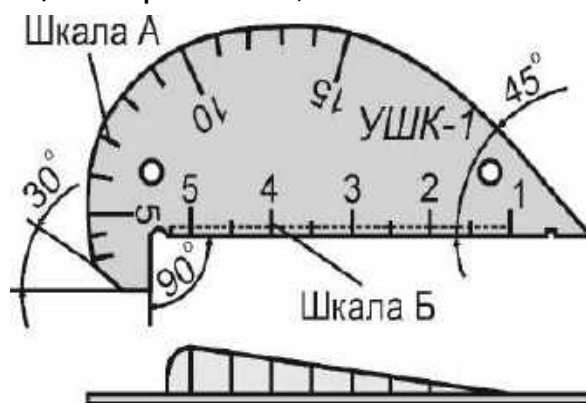


Рис. 2.11. Універсальний шаблон Красовського

Практичні рекомендації щодо контролю зварних з'єднань показано на рис. 2.12, 2.13.

*Вимірювання* зазору між крайками при підготовці деталей до зварювання. Величина зазору визначається між точками дотику підготовлених крайок зі шкалою (рис. 2.12, а).

*Вимірювання* висоти посилення напускового зварного шва проводиться при зіткненні робочої поверхні шкали А з площиною основного елемента і продовженням торцевої площини елемента, що приварюється. Величина посилення визначається в точці дотику поверхні шва і шкали А (рис. 2.12, в).

*Вимірювання* висоти посилення кутового зварного шва проводиться при дотику робочої поверхні шкали А з площинами зварених елементів. Величина посилення визначається у точці дотику поверхні шва зі шкалою А (рис. 2.13, г, д, е).

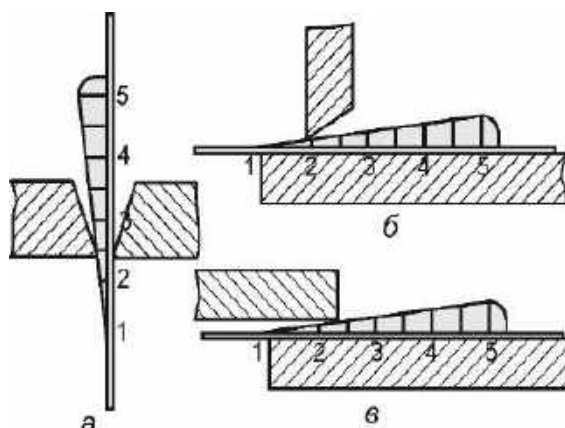


Рис. 2.12. Вимірювання зазору між крайками: а – стикового з'єднання; б – таврового з'єднання; в – з'єднання внапуск

*Вимірювання* висоти посилення стикового зварного з'єднання проводиться при дотику двох точок шаблона з поверхнями зварних елементів. Величина посилення визначається в точці дотику (рис. 2.13, а).

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з суттю візуального і вимірювального контролю.
2. Ознайомитися з технічними засобами проведення візуального контролю.

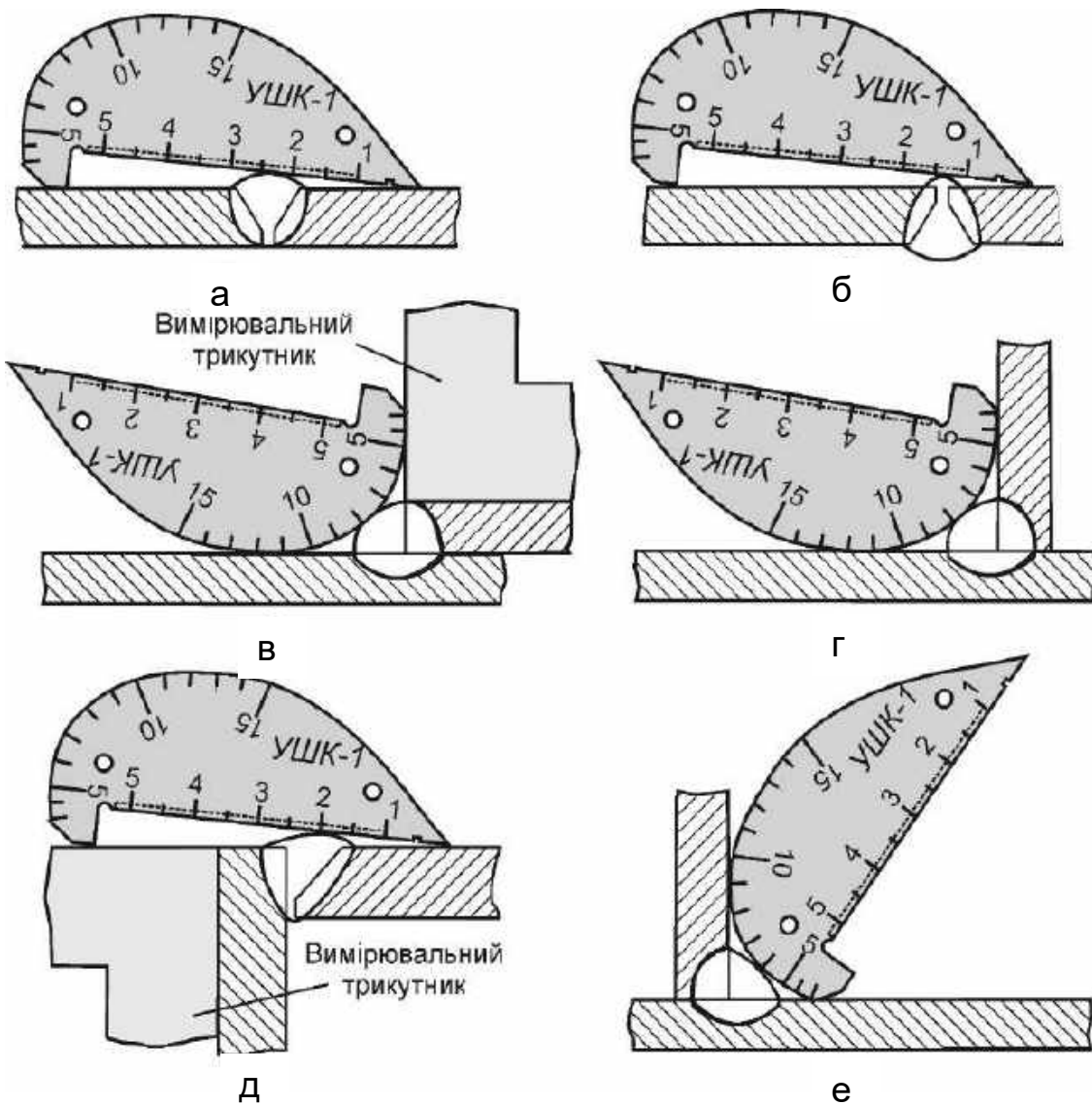


Рис. 2.13. Перевірка форми й розмірів зварних з'єднань шаблоном УШК-1: а – вимірювання посилення стикового шва; б – вимірювання посилення кореня стикового шва; в – вимірювання кутового шва стикового з'єднання; г, е – вимірювання висоти кутового шва; д – вимірювання посилення кутового шва

3. Ознайомитися з технічними засобами проведення вимірювального контролю (вимірювальний контроль у виробничих умовах (рис. 2.14).



а



б



в



г



д



е

Рис. 2.14. Вимірювальний контроль у виробничих умовах: а – вимірювання ширини стикового шва; б, г, д – вимірювання посилення стикового шва; в – вимірювання посилення кутового шва; е – стандартний комплект візуального і вимірювального контролю

4. Отримати у викладача: креслення зварних з'єднань, зразки зварних з'єднань, їх макети.

5. Виконати конструктивно-технологічний аналіз отриманих зразків.

6. Провести контроль якості складання під зварювання стикового з'єднання з підготовкою крайок (всі дані занести в табл. 2.1):

а) за ДСТУ 5264 або 8713 виписати для певної товщини металу і типу шва рекомендовані основні розміри і допуски на них;

б) викреслити ескіз підготовлених крайок;

в) за допомогою штангенциркуля і шаблонів зробити виміри: товщини металу, кута скосу крайок, зазору, величини притуплення і збіжності або незбіжності підвищення поверхні однієї крайки над іншою;

г) навести ескіз складеного під зварювання стикового з'єднання з усіма розмірами підготовки крайок, а також розміри підготовлених крайок відповідно до вимог ДСТУ;

д) порівняти отримані результати з вимогами ДСТУ і зробити висновок про якість складання під зварювання;

е) відзначити можливі способи виправлення відступів.

7. Визначити дефекти шва зовнішнім оглядом (всі дані занести в табл. 2.2):

а) уважно розглянути шов і визначити вид зварювання;

б) визначити наявні поверхневі дефекти і заміряти їх величину;

в) зарисувати зовнішній вигляд шва і відзначити на ньому виявлені дефекти;

г) вказати на можливі способи виправлення дефекту.

8. Провести контроль форми і розмірів готових стикових і кутових швів (всі дані занести в табл. 2.3):

а) викреслити ескізи виконаних швів;

б) за допомогою лінійки, штангенциркуля і універсальних шаблонів заміряти геометричні розміри шва і вказати їх на ескізах;

в) виписати з ДСТУ аналогічні рекомендовані розміри, порівняти їх з отриманими в результаті вимірів і зробити висновок про якість виконаного шва.

9. Скласти звіт.

### **Обладнання й матеріали**

1. Креслення зварних з'єднань.

2. Технічні засоби проведення візуального контролю й інструкції щодо їх використання.

3. Технічні засоби проведення вимірювального контролю й інструкції щодо їх використання.

4. Зразки елементів з різних етапів отримання зварних з'єднань.

### **Зміст звіту**

1. Загальні відомості щодо проведення візуального та вимірювально-

го контролю.

2. Ескізи об'єктів контролю.
3. Схеми проведення вимірювального контролю.
4. Результати досліджень.
5. Аналіз отриманих результатів. Висновки (причини виникнення дефектів, способи їх усунення).

Таблиця 2.1

Результати контролю якості складання під зварювання

Вид з'єднання	Розміри підготовки крайок					
	Товщина металу, мм	Кут скошу крайок, градус	Зазор, мм	Величина притуплення крайок, мм	Перевищення поверхні крайок, мм	Примітки
	Розміри підготовки крайок відповідно до ДСТУ					
	Розміри підготовки крайок, отримані при вимірюванні					

Таблиця 2.2

Результати контролю дефектів шва зовнішнім оглядом

№ п/п	Вид дефекту	Розмір дефекту	Можливі причини утворення дефекту	Можливий спосіб усунення дефекту

Таблиця 2.3

Результати контролю форми і розмірів готових стиків і кутових швів

Вид з'єднання	Розміри шва									
	Розміри відповідно до ДСТУ									
	Розміри, отримані при вимірюванні									

**Контрольні запитання**

1. Які дефекти зварних з'єднань ви знаєте?
2. Перелічіть основні причини появи дефектів зварних з'єднань.
3. Як впливають на працездатність зварного з'єднання дефекти?

4. Які дефекти виявляються зовнішнім оглядом?
5. З якою метою проводяться металографічні дослідження?
6. Назвіть основні групи дефектів зварних з'єднань.
7. Якими пристроями та інструментами користуються при контролі візуальним оглядом?
8. Які дефекти виявляються за допомогою обміру зварних швів?
9. Розкажіть, які існують види універсальних шаблонів і поясніть принцип їх роботи.
10. Опишіть будову універсальних шаблонів.

## Практична робота № 2

### ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФЕКТІВ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ МЕТОДОМ МАГНІТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЮ

**Мета роботи:** ознайомитися з фізичними основами методу, апаратурою і методикою виявлення внутрішніх дефектів зварного з'єднання за допомогою магнітопорошкового методу контролю.

#### Теоретичні відомості

Магнітний метод контролю зварних з'єднань належить до фізичних методів, що дозволяє перевірити якість сталевих (ферромагнітних) виробів без їх руйнування (залізо, нікель, кобальт і ряд сплавів на їх основі).

Магнітні методи базуються на вивченні магнітних полів розсіювання навколо виробів з ферромагнітних матеріалів після намагнічування. У місцях розташування дефектів спостерігається перерозподіл магнітних потоків і формування магнітних полів розсіювання.

Методи магнітної дефектоскопії виявляють і фіксують потоки розсіювання над дефектами.

Залежно від способу реєстрації магнітних полів розсіювання магнітні методи поділяють:

- на магнітопорошковий (МПК);
- магнітографічний;
- ферозондовий;
- індукційний;
- магнітоакустичні;
- магнітонапівпровідниковий;
- електромагнітний.

При дефектоскопії зварних швів застосовують в основному три методи: магнітопорошковий, магнітографічний і ферозондовий. У першому випадку потоки розсіювання виявляються за допомогою магнітного порошку, у другому – реєструється на магнітну стрічку, в третьому – виявляються за допомогою ферозонда.

Об'єктами МПК є різноманітні напівфабрикати, деталі, вузли, елементи конструкцій і виробів, зварні, клепані і болтові з'єднання, у тому числі з захисним або захисно-декоративним покриттям, включаючи об'єкти, що знаходяться в конструкції літальних апаратів, механізмів, машин, обладнання, засобів транспорту та іншої техніки.

Магнітопорошковий контроль, або магнітопорошкова дефектоскопія (МД), – це метод неруйнівного контролю оснований на явищі тяжіння частинок магнітного порошку магнітними потоками розсіювання, що виникають над дефектами в намагнічених об'єктах контролю (ОК). Наявність і протяжність індикаторних рисунків реєструють візуально, за допомогою оптичних приладів або автоматичними пристроями виявлення і оброблення зображень.

Магнітний потік у бездефектній частині виробу не змінює свого напрямку (рис. 2.15, а); якщо ж на його шляху зустрічаються ділянки зі зниженою магнітною проникністю (магнітна проникність дефекту в тисячі разів менше магнітної проникності основного металу), наприклад дефекту у вигляді розриву суцільності металу (тріщини, неметалеві включення і т. ін.), силові лінії магнітного поля в металі змінюються, огинають дефекти і частина їх виходить з деталі назовні і входить в неї знову, при цьому виникають місцеві магнітні полюси (N і S) і, як наслідок, магнітне поле над дефектом (рис. 2.15, б). Оскільки магнітне поле над дефектом неоднорідне, то на магнітні частинки, що потрапили в це поле, діє сила, яка прагне затягнути частинки в місце найбільшої концентрації магнітних силових ліній, тобто до дефекту. Частинки в області поля дефекту намагнічуються і притягуються одна до одної як магнітні диполі під дією сили так, що утворюють ланцюгові структури, орієнтовані за магнітними силовими лініями поля (скупчуються у вигляді валиків над дефектами). Форма цих скупчень відповідає обрисам виявлених дефектів.

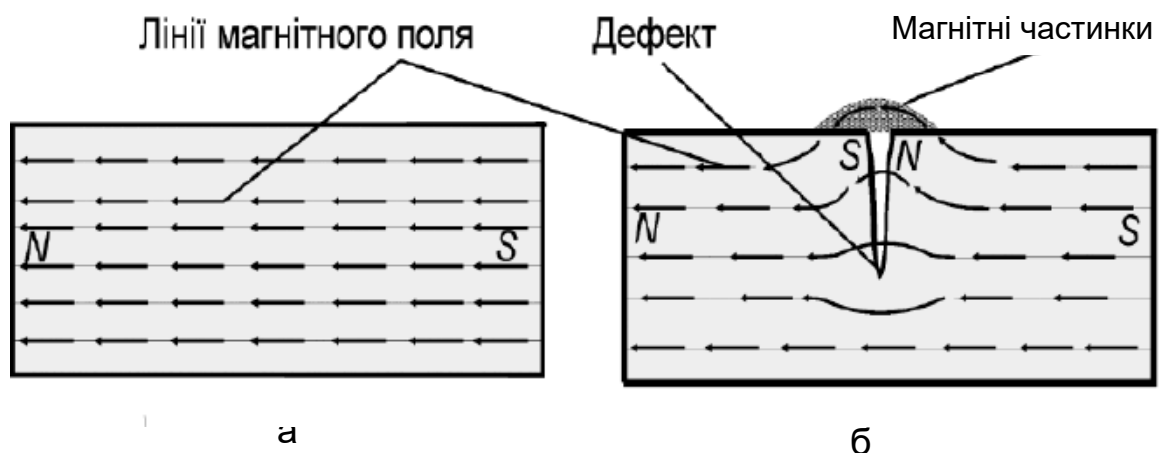


Рис. 2.15. Розташування магнітного потоку по перерізу якісного (а) і дефектного (б) зварного з'єднання

**Магнітні індикатори.** Як магнітні індикатори при МПК застосовують магнітні порошки, суспензії, аерозолі, повітряні суспензії і магнітогумовані пасти.

Магнітні порошки, що використовують як індикатори дефектів, мають задовольняти вимоги ДСТУ 9849-86 і містити Fe 98,5 %, С 0,08 % і мінімальну кількість ферромагнітних домішок. Частинки порошку мають бути в основному одного розміру і, бажано, величиною 5...10 мкм. Існують магнітні порошки цегельно-червоного (порошок оксиду заліза  $Fe_2O_3$ ) і чорного або темно-коричневого (порошок магнетиту  $Fe_3O_4$ ) кольорів. Для деталей з блискучою світлою поверхнею використовують в основному порошок магнетиту чорного кольору. При контролі деталей з чорною поверхнею використовують кольорові (частіше цегельно-червоного кольору) і магнітолюмінесцентні порошки.

Магнітолюмінесцентні порошки одержують спеціальною обробкою ферромагнітної пудри сполуками. Після такого оброблення скупчення (рисунки) порошоків світяться в ультрафіолетових променях (люмінесціюють), що суттєво підвищує чутливість методу

При магнітопорошковому контролі використовують ферромагнітний порошок:

- «сухий» метод нанесення порошку – в сухому вигляді він розсіюється по плоскій поверхні, дає самий достовірний результат;
- «мокрый» метод нанесення порошку (індикатор являє собою дрібнодисперсну суспензію магнітних частинок у рідині):
  - у вигляді водної емульсії – частинки будуть утримуватися під невеликим ухилом;
  - у вигляді маслянистої суспензії з низькою плинністю, що огортає контрольовану ділянку (для основи використовують гас, трансформаторне масло).

Водна суспензія має більшу чутливість порівняно з масляною, її доцільно застосовувати при контролі великих деталей при недостатньому струмі намагнічування або при контролі деталей з дрібними зубами або дрібною різью. Однак водна суспензія може спричинити кородування виробів. Масляна суспензія не сприяє кородуванню виробу, не потребує попереднього знежирення і подальшого його сушіння. Для магнітопорошкової дефектоскопії рекомендується застосовувати такі склади водних магнітних суспензій:

#### Склад 1

Чорний магнітний порошок, г .....	20 ± 5
або магнітолюмінесцентний порошок, г .....	5 ± 1
Біхромат калію (калієвий хромпик $K_2Cr_2O_7$ »), г ....	5 ± 1
Сода кальцинована ( $Na_2CO_3$ ), г .....	10 + 1
Емульгатор ОП-7 або ОП-10, г .....	5 ± 1



Вода водопровідна, л ..... 1

#### Склад 2

Чорний магнітний порошок, г .....  $20 \pm 5$

або магнітолюмінесцентний порошок, г .....  $5 \pm 1$

Нітрат натрію ( $\text{Na}_2\text{NO}_3$ ), г .....  $15 \pm 1$

Емульгатор ОП-7 або ОП-10, г .....  $5 \pm 1$

Вода водопровідна, л ..... 1

Примітка. Деталі з покриттями з кадмію та цинку можуть кородувати в суспензії з нітритом натрію.

#### Склад 3

Чорний магнітний порошок, г .....  $20 \pm 5$

або магнітолюмінесцентний порошок, г .....  $5 \pm 1$

Сода кальцинована ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), г .....  $12 \pm 1$

Мило господарське кускове, г .....  $1 \pm 0,5$

Вода водопровідна, л ..... 1

Мильно-содову водну суспензію виготовляють таким чином: розчиняють дрібно настругане мило в 300 мл гарячої ( $50...70\text{ }^\circ\text{C}$ ) води. Після охолодження мильний розчин вливають в содовий і додають необхідну кількість води. Магнітний порошок добре розмішують до тістоподібного стану з малою кількістю рідини, а потім з усією рідиною суспензії.

Мильно-содова суспензія не призводить до корозії легованих вуглецевих сталей без покриття, а також із захисними покриттями у вигляді оксидного фосфату, кадмію, хрому та цинку з пасивацією.

Для контролю деталей, схильних до кородування, слід застосовувати масляні суспензії таких складів:

#### Склад 1

Чорний магнітний порошок, г .....  $20 \pm 5$

Трансформаторне масло (або масло РМ, МК, МС), л. 0,5

Гас, л ..... 0,5

#### Склад 2

Чорний магнітний порошок, г .....  $20 \pm 5$

Трансформаторне масло, л ..... 0,5

Пальне марки Т-1, л ..... 0,5

Примітка. При контролі деталей в доданому магнітному полі кількість чорного магнітного порошку в суспензії може бути зменшено на 5 – 10 г/л. Кінематичний коефіцієнт в'язкості масляної і гасово-масляної суспензії не повинен перевищувати 25 Ст при  $20\text{ }^\circ\text{C}$ .

При приготуванні суспензії спочатку магнітний порошок ретельно перемішують з невеликою кількістю рідини (основи суспензії) до отримання однорідної маси з консистенцією сметани, а потім розмішують з кількістю рідини, що залишилась.

Оскільки при використанні суспензія збіднюється, що призводить до зниження чутливості методу контролю, необхідно періодично перевіряти концентрацію магнітного порошку в суспензії і додавати його в суспензію до оптимальної кількості. При повному завантаженні магнітного дефектоскопа необхідно перевіряти концентрацію магнітного порошку в суспензії не рідше двох разів на тиждень.

Магнітогумовані пасти – це затверділі консистентні суміші феромагнітного порошку, пластифікатора та інших допоміжних компонентів в дисперсійному середовищі на основі хлоркаучуку, циклокаучуку, наїриту або іншого полімеру. Зазвичай їх використовують для виявлення дефектів у важкодоступних місцях, наприклад на стінках глибоких отворів.

Магнітний індикатор вибирають з урахуванням:

- необхідної чутливості МПК;
- властивостей магнітного індикатора;
- виду та місця розташування, де відшукуються дефекти;
- кольору поверхні об'єктів контролю і її шорсткості;
- умов проведення робіт з контролю;
- необхідної продуктивності праці;
- технічних і економічних можливостей підприємства.

При "сухому" способі порошок наносять на ОК, користуючись розпилювачем або за допомогою дрібнофракційного сітчастого сита. Цей метод найбільш широко використовується при контролі горизонтальних поверхонь. У момент наведення поля контрольовану область злегка обстукують, роблячи частинки рухливими. Одну і ту ж ділянку перевіряють двічі для достовірності результатів.

Контроль з використанням суспензії можна здійснювати одним із таких способів:

- а) зануренням намагніченої деталі в суспензію;
- б) поливанням деталі суспензією;
- в) оббризуванням деталі суспензією, що знаходиться під тиском;
- г) використанням замкнутого посуду з суспензією.

Останні легко наносяться на поверхні у будь-якому просторовому положенні. У цьому випадку частинки феромагнітного порошку під дією магнітних потоків розсіяння переміщуються у рідкому шарі. За скупченням цих частинок і роблять висновок про наявність дефектів у зварних швах.

Слід також мати на увазі, що при виявленні підповерхневих дефектів більш висока чутливість може бути досягнута шляхом застосування "сухого" способу порівняно з "мокрим". Більш висока чутливість МПК із застосуванням сухого порошку порівняно із застосуванням магнітної суспензії пояснюється:

– високою рухливістю феромагнітних частинок, зважених у повітрі, через незначні сили тертя, що діють на частинки в цьому середовищі (для

переміщення частинок у повітрі потрібно набагато менша сила, ніж для їх переміщення у в'язкому середовищі магнітної суспензії);

– відсутністю гідродинамічного впливу струменя суспензії при її нанесенні на деталь або поверхневого натягу рідини при вийманні деталі з бака з суспензією;

– формуванням з феромагнітних частинок тонких ланцюжків, які більш чутливі до магнітних полів розсіювання, ніж окремі частинки.

**Намагнічування об'єктів контролю.** Необхідна умова застосування магнітного методу контролю – це намагнічування ОК. Намагнічування для контролю виробів можна виконувати за допомогою постійного, змінного або імпульсного струму.

*Постійний струм* (двопівперіодний випрямлений, трифазний випрямлений). Цей спосіб характеризується стабільністю, відсутністю впливу вихрових струмів, густина постійного струму по всьому перерізу однакова, і зазвичай магнітний потік буде однорідним по всьому перерізу досліджуваного виробу при його намагнічуванні постійним струмом. Проте він дещо складний з огляду на необхідність використання потужних випрямлячів струму і тому застосовується для намагнічування малогабаритних виробів.

*Змінний струм.* Цей вид струму більш зручний, оскільки дозволяє застосовувати трансформатори для отримання великих струмів. Однак у цьому випадку необхідно забезпечити вимикнення струму у момент досягнення амплітудного значення струму, коли деталь намагнічується до насичення. В іншому разі залишкова індукція в деталі після відключення струму може бути значно нижчою за припустиму.

*Імпульсний струм.* Використання такого струму намагнічування поєднує переваги обох способів, але технічно є достатньо складним. Потужний імпульс струму найчастіше реалізується в результаті розряду конденсатора великої ємності. Недоліком способу є те, що внутрішні ділянки ОК не намагнічуються. Однак в цьому є і позитивна сторона: зменшується розмагнічувальна дія кінців виробу.

Для встановлення магнітного поля у виробі використовують найрізноманітніші способи: постійним магнітом, електромагнітом і соленоїдом (полюсне намагнічування), пропусканням струму через ОК (циркулярне намагнічування), комбінацією полюсного і циркулярного намагнічування (гвинтове намагнічування), паралельним намагнічуванням.

Якщо потрібно виявити дефект, розташований під кутом не більше  $25^\circ$  до поздовжньої осі деталі або перпендикулярно до неї, застосовують полюсне намагнічування в магнітному поясі соленоїда або розміщують деталь безпосередньо між полюсами постійного магніту або електромагніту.

Для виявлення дефектів, розташованих уздовж поздовжньої осі або під кутом до неї менше  $20^\circ$ , застосовують поперечне намагнічування, при

якому силові лінії замикаються в концентричні кола, для цього електричний струм пропускають прямо через деталь.

Там, де необхідно виявити дефект на внутрішній циліндричній поверхні, струм пропускають через немагнітний стрижень з міді, латуні або алюмінію, який поміщається в отвір деталі.

При одночасному впливі на ОК взаємно перпендикулярними магнітними полями (комбіноване намагнічування) результуючі силові лінії спрямовані по витковій лінії до поверхні досліджуваної деталі, що дозволяє виявити дефекти різної спрямованості. Якщо полюсне і поперечне намагнічування здійснюють як в прикладеному магнітному полі, так і в полі залишкової намагніченості, то комбіноване намагнічування – тільки в прикладеному магнітному полі.

Вибір способу намагнічування можна здійснювати виходячи з очікуваного напрямку поширення дефекту.

При дуговому електрозварюванні металеві деталі намагнічуються зварювальним струмом. Коли зберігається сильне залишкове намагнічування, контроль магнітними порошками проводять без використання дефектоскопів.

*З огляду на вплив поля намагнічування розрізняють спосіб прикладеного магнітного поля (СПП) і спосіб залишкової намагніченості (СЗП).*

При контролі СПП операції намагнічування ОК та нанесення магнітної суспензії виконуються одночасно. При цьому індикаторні рисунки виявлених дефектів утворюються в процесі намагнічування. Намагнічування припиняють після стикання з контрольованої поверхні основної маси суспензії. Це дозволяє створити достатньо великі індукції аж до індукції насичення. У цьому випадку одержують значні поля розсіювання дефектів і високу чутливість. Особливо ефективним є застосування способу прикладеного магнітного поля для виробу із магнітом'яких матеріалів із низьким значенням залишкової магнітної індукції ( $B_r$ ) (сталі Ст3, Ст5, 10, 20, 45 незагартована та ін.). До недоліків цього способу можна віднести: на первинний вимірювальний перетворювач разом з магнітним полем розсіювання дефекту діє сильне поле намагнічування; під час контролю коротких деталей з'являється сильне поле розмагнічування.

Контроль СПП слід застосовувати, коли:

- виріб виконано з магнітом'якого матеріалу або має складну форму;
- потужність дефектоскопа недостатня, щоб намагнітити всю деталь унаслідок її великих розмірів;
- проводять контроль невеликих ділянок великогабаритної деталі за допомогою переносних електромагнітів або електроконтактів;
- необхідно контролювати дефекти, розташовані під поверхнею на глибині більше 0,01 мм, або дефекти, що знаходяться під шаром немагнітного покриття товщиною більше 30...500 мкм;

– невідомі магнітні властивості матеріалу деталі.

Під час реалізації способу залишкової намагніченості деталей спочатку намагнічується до стану насичення, після чого поле намагнічування усувають і після стікання основної маси суспензії проводять контроль (вимірюють поле розсіювання дефектів).

Цей спосіб контролю має такі переваги перед способом прикладеного поля:

– зручність при огляді деталі, оскільки її можна помістити в будь-яке положення й оглядати неозброєним оком або із застосуванням оптичних пристроїв;

– простота розшифрування результатів контролю, оскільки на залишкову намагніченість мало впливають такі фактори, як наклеп, структурна неоднорідність тощо;

– можливість нанесення суспензії (поливом чи зануренням) одночасно на велику кількість деталей;

– зменшення перегріву в місцях контактів деталі зі струмопровідником, оскільки для намагнічування витрачається мало часу.

До недоліків цього способу слід віднести низьку чутливість, до переваг – виключення впливу на датчик поля намагнічування, що частково компенсує втрату чутливості. Цей спосіб найчастіше застосовують для контролю виробів з магнітотвердих матеріалів з високим значенням  $B_r$  (високовуглецеві і леговані сталі).

**Розмагнічування об'єктів контролю.** Залишкова намагніченість деталей може шкідливо впливати на роботу вузла, складовою частиною якого вони є. Тому після поздовжнього намагнічування, при якому на деталях утворюються полюси, необхідно розмагнічувати деталі, що йдуть на складання. Необхідно розмагнічувати деталі: що мають поверхні тертя; прецизійних приладів; що застосовуються в літакобудуванні.

Відомо два основних способи розмагнічування деталей.

1. Розмагнічування деталі знакозмінним магнітним полем з амплітудою, що рівномірно зменшується від деякого максимального значення, більшого за поле насичення певного матеріалу (або більшого за величину намагнічувального поля), до нуля. Магнітний стан матеріалу після такої операції характеризується значеннями  $H = 0$ ,  $B = 0$ .

2. Нагрівання деталі до температури Кюрі, при якій зникають феромагнітні властивості матеріалу деталі. Спосіб є найбільш ефективним, проте практично застосовується мало, оскільки при нагріванні змінюються механічні властивості матеріалу деталі, що у більшості випадків є абсолютно неприпустимим.

**Чутливість магнітопорошкового методу** залежить від низки факторів:

– розміру частинок порошку, його магнітних властивостей і способу

його нанесення;

- магнітних характеристик матеріалу контрольованого виробу (магнітної індукції (В), залишкової намагніченості (Br), максимальної магнітної проникності ( $\mu_{\max}$ ), коерцитивної сили (H0);

- якості дефектоскопічних засобів;

- способу намагнічування й умов реєстрації індикаторного рисунка (осадження магнітного порошку в місці розташування дефекту);

- напруженості прикладеного намагнічувального поля. Чим більша напруженість магнітного поля, яким намагнічуються деталі, тим сильніше поле розсіювання, що утворюється над дефектами;

- виду прикладеного струму (змінний чи постійний);

- форми і величини дефектів. Над дефектами округленої форми (рис. 2.2, г) утворюються слабкі поля розсіювання;

- глибини залягання дефектів. Чим глибше залягає дефект, тим слабше поле розсіювання. Коли дефект виходить на поверхню деталі і має значно більшу глибину порівняно з шириною, то одержується сильне поле розсіювання;

- від орієнтації дефекту відносно поверхні виробу і напрямку намагнічування. Якщо дефект розташований уздовж силових ліній поля (див. рис. 2.2, а), то магнітне поле розсіювання зовсім не утворюється. Виникає поле розсіювання тільки тоді, коли кут між напрямком дефекту і силовими лініями більше  $20...30^\circ$ . Найсильніше поле розсіювання отримується в тому випадку, коли дефект розміщений перпендикулярно до силових ліній поля (див. рис. 2.2, в). Якщо розміщення дефекту невідоме, то потрібно здійснювати або багаторазове намагнічування в різних напрямках, або гвинтове намагнічування;

- стану і форми поверхні контрольованого виробу;

- освітленості контрольованої поверхні.

Гранична чутливість магнітопорошкового методу дефектоскопії за сприятливих умов з контролю відповідає виявленню несучільностей з розкриттям 1 мкм і більше, глибиною 10 мкм і більше і протяжністю 0,5 мм і більше, при контролі зварних з'єднань з незнятим валиком посилення, виконаних ручним зварюванням, чутливість знижується на порядок і більше.

**Оцінювання результатів контролю.** Осадження магнітного порошку може відбуватися як у місцях порушення суцільності, так і на уявних дефектах. Характер відкладення порошку дозволяє якісно, а іноді і напівкількісно оцінити глибину дефекту.

Гартівні тріщини виявляються дуже чітко та мають характерний щільний валик магнітного порошку. Рисунок тріщин – це ламані лінії різного напрямку, частіше в напрямку ризок механічного оброблення і в місцях різких переходів перерізів.



Тріщини втоми виявляються у вигляді чітких ліній. Розташовані вони в основному в місцях концентрації напружень. Концентраторами напружень можуть бути подряпини, надрізи, гартівні тріщини, риски від різця чи напилка, місця різкого змінення перерізу деталі. Розвивається тріщина втоми від поверхні і поширюється у глиб виробу.

Шліфувальні тріщини мають вигляд тонких чітких ліній у вигляді сітки або окремих рисок, розташованих поперек напрямку шліфування.

Волосовини виявляються у вигляді рисок, ліній, витягнутих у напрямку прокатки. Для виявлення волосовин на більш ранній стадії оброблення необхідно проводити контроль у прикладеному полі. Це пов'язано з тим, що інтенсивність відкладення магнітного порошку на волосовинах залежить від глибини розташування волосовини, розташування її відносно поверхні виробу і наявності знеуглецьованого шару на гранях волосовини. Якщо грані волосовини мають вид складок або крайки їх знеуглецьовані, то залишкова намагніченість у поверхневому шарі відносно мала і відповідно відкладення магнітного порошку слабке. Тому контроль у прикладеному полі є доцільнішим, ніж за його відсутності навіть при контролі загартованих магнітотвердих матеріалів.

Включення виявляються у вигляді хвилястих ліній (іноді розташованих паралельно одна до одної). Включення, так само як і волосовини, в основному виявляються у прикладеному полі.

Неметалеві включення виявляються завдяки ланцюжкам або точковим скупченням магнітного порошку.

Магнітний рисунок з'являється за наявності поля розсіювання, що може утворюватися не тільки в місцях порушення суцільності, але й у місцях, де немає дефектів. Відкладення магнітного порошку в деяких випадках має характерні риси, за якими можна відрізнити уявні дефекти від дійсних.

Найбільш часто включення, що призводять до помилок, зустрічаються в місцях структурної неоднорідності, механічного і магнітного наклепу, різких звужень перерізу деталі, по рисках і слідах грубого механічного оброблення.

Уявні дефекти в основному дають розмиту, слабку картину відкладення магнітного порошку, і характерного валика порошку не спостерігається. Відкладення порошку в місцях ліквідації дуже важко відрізнити від відкладення порошку на тріщинах. У таких випадках при дефектоскопії разом з магнітопорошковим методом використовують капілярний, електромагнітний та ін.

Магнітний контроль напівфабрикатів і виробів може проводитися із застосуванням стаціонарних і переносних дефектоскопів (рис. 2.16). Магнітопорошковий дефектоскоп дозволяє контролювати різні за формою деталі, зварні шви, внутрішні поверхні, отвори шляхом намагнічування окремих

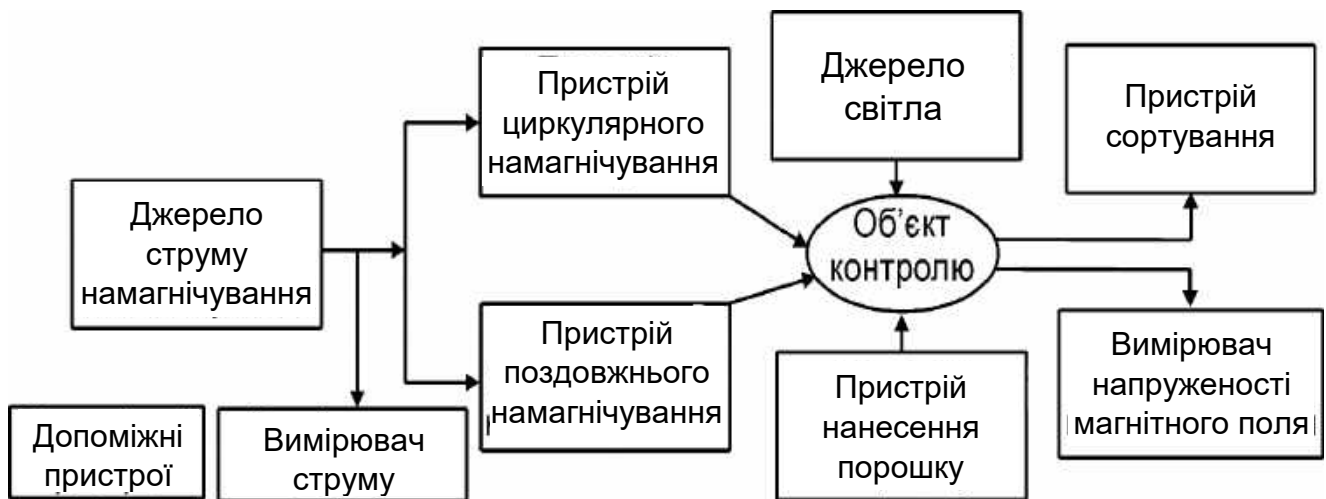


Рис. 2.16. Блок-схема магнітопорошкового дефектоскопа

контрольованих ділянок або виробу в цілому циркулярним або поздовжнім полем, яке створюється за допомогою набору пристроїв, що намагнічують і живляться імпульсним або постійним струмом або за допомогою постійних магнітів.

Існують універсальні і спеціалізовані дефектоскопи.

Види обладнання:

- мобільні, для роботи в польових умовах – МД-4К або МД-6, що працюють на постійних магнітах, які не потребують електроживлення;
- стаціонарні – ХМД-10П, МД-5, УМДЕ-2500, які характеризуються високою швидкістю контролю зварних з'єднань;
- пересувні або переносні дефектоскопи, які використовуються на промислових майданчиках, віддалених об'єктах – МД-50П, ПМД-70.

У блок намагнічування можуть входити соленоїди, електромагніти, що працюють від змінного струму, які підключаються до стандартної електромережі.

Після намагнічування деталі розмагнічуються пристроєм, вмонтованим у дефектоскоп.

**Методика МПК** містить такі операції:

- підготовка до контролю (перевірка працездатності дефектоскопів, перевірка якості дефектоскопічних матеріалів, підготовка контрольованого виробу до операцій контролю);
- підготовка порошку ("сухий" метод нанесення індикатора);
- підготовку суспензії, яка полягає в інтенсивному перемішуванні магнітного порошку з рідиною ("мокрый" метод нанесення індикатора);
- намагнічування ОК;
- контроль величини поля або струму, що намагнічує;

- нанесення суспензії або порошку на поверхню контрольованого виробу;
- огляд поверхні виробу і виявлення місць, покритих відкладеннями порошку;
- розшифрування індикаторного рисунка;
- вилучення залишків індикаторних засобів;
- розмагнічування;
- контроль якості розмагнічування виробу.

Від правильності виконання всіх технологічних операцій залежить чутливість методу і надійність виявлення дефектів.

З контрольованої поверхні виробу перед контролем необхідно видалити продукти корозії, залишки окалини, масляні забруднення, за необхідності сліди лакофарбових покриттів. У разі застосування водної суспензії поверхні повинні бути знежиреними. При використанні масляно-гасової магнітної суспензії поверхню очищують тільки від забруднень, а знежирення не проводиться.

Для видалення забруднень і покриттів з поверхні об'єктів контролю застосовують промивання водою і водними розчинами хімічних речовин, промивання органічними розчинниками, ультразвукове очищення, електрохімічне оброблення, у тому числі анодно-лужне, катодно-анодно-лужне, анодно-ультразвукове оброблення, гідроабразивне оброблення та інші способи.

Спосіб очищення вибирають з урахуванням характеру і фізико-хімічних властивостей забруднення або покриття.

Для контролю деталей з чорною поверхнею, а також для усунення впливу дрібних різок, задирок, шорсткості рекомендується покривати поверхню деталей тонким шаром білої нітроемалі типу НЦ-25, НЦ-28 з пульверизатора з товщиною шару не більше 20 мкм. Після контролю за необхідності емаль змивають ацетоном.

**Огляд об'єкта контролю** проводиться неозброєним оком. У сумнівних випадках і в важко досяжних для огляду місцях можуть застосовуватися оптичні пристрої: лупи 2 – 7-кратного збільшення, а при контролі невеликих об'єктів – біноклярні стереоскопічні мікроскопи або інші засоби.

Огляд внутрішніх порожнин об'єктів проводять за допомогою спеціальних зондів, ендоскопів, поворотних дзеркал та інших оглядових пристроїв, виготовлених з немагнітних матеріалів

При контролі з використанням магнітолюмінесцентних суспензій огляд проводиться в світлі джерел ультрафіолетового випромінювання з потужністю не менше 2 мВт/см<sup>2</sup>.

При огляді особливу увагу слід звернути на галтелі, місця переходу з одного перерізу до іншого, крайки виїмок і отворів, різі та інші місця концентрацій напружень у деталях.

При використанні магнітної суспензії на водній основі об'єкти контролю, що не мають гальванічних або хімічних захисних покриттів, визнані придатними, на яких повинні виконуватися наступні операції виготовлення або ремонту, необхідно піддавати міжопераційному протикорозійному захисту у випадках, якщо в суспензії відсутні інгібітори корозії, а час до виконання подальших операцій перевищує терміни, допустимі для їх зберігання без засобів захисту.

Для цього об'єкти після розмагнічування промивають водою, протирають сухим чистим ганчір'ям і виконують протикорозійний захист за допомогою охолоджувальних або мастильно-охолоджувальних рідин, водних розчинів інгібіторів корозії, інгібірованого паперу, захисних атмосфер або емульсій, масел, тимчасових захисних полімерних покриттів або іншими способами, прийнятими на підприємстві.

### **Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися із суттю магнітопорошкового контролю.
2. Визначити особливості контролю при застосуванні різних способів намагнічування й нанесення індикаторного матеріалу.
3. Ознайомитися з контрольованою деталлю. На деталях виявити найбільш ймовірні місця утворення дефектів.
4. Розробити технологію дефектоскопії із застосуванням вибраного магнітного методу.
5. Ознайомитися з будовою магнітопорошкового дефектоскопа.
6. Обробити за технологією вибраного магнітного контролю зразки та деталі
7. Зафіксувати та проаналізувати (розшифрувати) індикаторний рисунок, що утворився на зразках і деталях.
8. Вилучити залишки індикаторних засобів.
9. Розмагнітити деталі і зразки.
10. Проконтролювати якість розмагнічування.
11. Скласти звіт.
12. Виконати аналіз отриманих результатів.

### **Обладнання й матеріали**

1. Зварені зразки з імовірними дефектами.
2. Комплекти матеріалів для виготовлення індикаторних сумішей.
3. Приладдя для нанесення індикаторних сумішей.
4. Магнітопорошковий дефектоскоп, комплектувальні елементи для намагнічування (розмагнічування) об'єктів контролю.
5. Серветки.

### **Зміст звіту**

1. Суть магнітопорошкового методу контролю.
2. Індикаторні суміші та способи їх нанесення.

3. Ескізи об'єктів контролю.
4. Прийняті способи намагнічування та нанесення індикаторної речовини.
5. Принципова схема магнітопорошкового дефектоскопа.
6. Ескізи індикаторних рисунків, що утворилися на об'єкті, який підлягає контролю.
7. Аналіз отриманих результатів.
8. Висновки.

### **Контрольні запитання**

1. Які дефекти зварювання можна виявити за допомогою магнітопорошкового методу контролю?
2. Зварні з'єднання з яких матеріалів можна контролювати магнітопорошковим методом?
3. Типи магнітних дефектоскопів та їх характеристики і призначення.
4. Підготовка деталей до проведення контролю.
5. Суть способів намагнічування деталей для магнітопорошкового контролю.
6. Способи нанесення магнітного порошку.
7. Способи розмагнічування деталей.
8. В яких випадках розмагнічувати деталі при магнітопорошковому контролі необов'язково?
9. Способи підвищення чутливості магнітних методів.
10. Переваги та недоліки магнітних методів контролю зварних з'єднань.

### **3. КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Основними експлуатаційними вимогами до виробів замкнутого типу (посудини, трубопроводи та ін.) є непроникність або герметичність їхніх стінок і зварних з'єднань.

Герметичність – це властивість виробу обмежувати проникнення рідини або газу крізь елементи конструкцій і їхнього з'єднання. Герметичність швів зварних з'єднань контролюють для виявлення наскрізних дефектів, наявність яких, крім утрати продуктів зберігання, знижує міцність і прискорює корозію зварної конструкції.

Випробування виробів на герметичність виконують із застосуванням пробних речовин (рідин або газів), які легко проникають крізь наскрізні дефекти і добре помітні візуально або за допомогою приладів (течошукачів) або інших засобів реєстрації.

В процесі випробувань виробів на герметичність використовують пробні, індикаторні й баластні речовини.

*Пробною* називають речовину, проникнення якої через дефект виявляється течешуканням.

*Баластні* речовини використовують для створення більшого перепаду тиску і, відповідно, підвищення чутливості випробувань при малих концентраціях пробних речовин.

*Індикаторними* називають речовини, що застосовуються для індикації (виявлення) виходу пробних речовин через течу на іншу сторону конструкції (проявник, люмінофори). Як пробну речовину застосовують рідини, гази, пари легколетких рідин. Залежно від пробної речовини методи поділяють на рідинні або газові.

Як пробні гази зазвичай застосовують інертні гази (гелій, аргон), що мають низький вміст в атмосфері і не взаємодіють з матеріалом об'єкта контролю або речовиною всередині нього.

До рідинних пробних речовин належить вода, яка застосовується при гідровипробуванні (гідроопресовування), вода з люмінесцентними добавками, що полегшують індикацію течі, а також змочувальні рідини – пенетранти.

Контроль течошуканням дозволяє виявити у зварних з'єднаннях і основному металі виробів наскрізні дефекти типу тріщин, неповарів, газових пор, свищів, пропалів та ін.

За своїм походженням ці дефекти можуть бути первинними і вторинними. До вторинних належать холодні і тріщини втомлюваності, наскрізні пори і свищі, утворені під дією агресивного середовища, вібраційного навантаження.

Величину наскрізного дефекту через неможливість виміру його лінійних розмірів умовно оцінюють потоком пробної речовини, що протікає крізь дефект за одиницю часу.

Характер руху рідини або газу крізь течі залежить від розмірів течі, складу середовища, перепаду тиску.

Вибір методу течошукання визначається:

- рівнем вимог до ступеня герметичності випробуваних об'єктів;
- напрямком і величиною робочого газового навантаження на оболонку;
- пробними речовинами, доступними до застосування.

Напрямок і величина навантаження при випробуваннях по можливості мають збігатися з робочим тиском у зв'язку з можливими деформаціями матеріалу оболонки і появою течі. Відповідно до ДСТУ EN 13185:2015 методи контролю герметичності течошуканням поділяють на три види (рис. 3.1): компресійні, капілярні, вакуумні.

ДСТУ 24054-80 встановлює класифікацію методів контролю герметичності за первинною інформативною ознакою залежно від агрегатного стану застосовуваних пробних речовин, що проникають через течі, і дві групи методів течошукання: газові і рідинні.

### **Газові методи**

#### ***Радіоактивний:***

– ***компресійний.*** Виріб заповнюють під тиском сумішшю газів, що містять радіоактивні ізотопи. Про негерметичність свідчать показання інди-



Рис. 3.1. Класифікація методів контролю герметичності

катора радіоактивного випромінювання;

– **камерний**. Виріб розміщують в камері, заповненій під тиском сумішшю газів, що містять радіоактивні ізотопи, і витримують протягом певного часу. Про негерметичність свідчать показання індикатора радіоактивного випромінювання.

**Манометричний:**

– **компресійний**. Виріб заповнюють пробним газом під тиском, відсікають подачу газу і витримують протягом певного часу. Про негерметичність свідчить величина зниження тиску в виробі;

– **вакуумний**. Виріб вакуумують, потім припиняють відкачування газу і витримують протягом певного часу. Про негерметичність свідчить підвищення тиску в виробі;

– **камерний**. Виріб або його частину розміщують в камері, заповнюють її пробним газом під тиском і витримують протягом певного часу. Про негерметичність свідчить величина підвищення тиску в камері.

**Мас-спектрометричний:**

– **у вакуумній камері**. Виріб розміщують у вакуумній камері, подають до неї пробний газ або суміш газів під тиском, витікання пробного газу в камеру реєструють мас-спектрометричним течешукачем;

– **накопиченням при атмосферному тиску**. Виріб розміщують у чохлі або камері, заповнених атмосферним повітрям, і подають до



нього пробний газ або суміш газів під тиском і витримують протягом певного часу, потім в камеру вводять щуп, з'єднаний з мас-спектрометричним течешукачем. Про негерметичність свідчать показання течешукача;

– **опресуванням в камері.** Виріб розміщують в камері, яку заповнюють під тиском пробним газом, і витримують протягом певного часу, після чого виріб поміщають в іншу камеру, яку вакуумують і з'єднують з мас-спектрометричним течешукачем. Про негерметичність свідчать показання течешукача;

– **обдуванням.** Виріб підключають до мас-спектрометричного детектора течі і вакуумують, контрольовані ділянки обдувають струменем пробного газу або суміші газів. Про негерметичність свідчать показання течешукача;

– **щупом.** Виріб заповнюють під тиском пробним газом або сумішшю газів, після чого сканують контрольовані ділянки поверхні щупом, сполученим з мас-спектрометричним течешукачем. Про негерметичність свідчать показання течешукача.

#### **Галогенний:**

– **щупом.** Виріб заповнюють під тиском галоїдовмісним пробним газом (фреоном, чотирихлористим вуглецем та ін.) або сумішшю газів, після чого сканують ділянки, що контролюють щупом галогенного течешукача. Про негерметичність свідчать показання течешукача;

– **обдуванням.** Перетворювач галогенного течешукача з'єднують з випробуваним виробом, після чого виріб вакуумують. Контрольовані ділянки обдувають струменем галоїдовмісним пробним газом або сумішшю газів. Про негерметичність свідчать показання течешукача.

#### **Бульбашковий:**

– **компресійний.** Виріб занурюють у ванну з індикаторною рідиною і заповнюють його пробним газом під тиском. Про негерметичність свідчить поява бульбашок газу;

– **нагріванням.** Виріб занурюють у ванну з нагрітою індикаторною рідиною і заповнюють його пробним газом під тиском. Про негерметичність свідчить поява бульбашок газу;

– **камерний.** Виріб підключають до пазиркової камери (лічильником бульбашок газу) і подають до нього пробний газ під тиском. Про негерметичність свідчить інтенсивність появи бульбашок газу в камері після стабілізації системи;

– **вакуумний.** Виріб занурюють у ванну з індикаторною рідиною, простір над якою вакуумують і заповнюють його пробним газом під тиском. Про негерметичність свідчить поява бульбашок газу;

– **омилюванням**. Виріб заповнюють пробним газом під тиском, контрольовані ділянки покривають пінливою масою. Про негерметичність свідчить поява пухирців газу в пінливій масі.

**Ультразвуковий**. Виріб заповнюють пробним газом під тиском, після чого сканують контрольовані ділянки щупом ультразвукового детектора. Про негерметичність свідчить рівень сигналу течешукача.

**Катарометричний**. Виріб заповнюють під тиском пробним газом з теплопровідністю, що відрізняється від теплопровідності навколишнього повітря, після чого сканують контрольовані ділянки щупом катарометричного течешукача. Про негерметичність свідчать показання течешукача.

**Хімічний**. Контрольовані ділянки покривають індикаторною стрічкою або індикаторною масою, після чого виріб заповнюють під тиском пробним газом, що хімічно реагує з матеріалом стрічки або маси, і витримують виріб протягом певного часу. Про негерметичність свідчить поява плям на стрічці.

**Інфрачервоний**. Виріб заповнюють пробним газом під тиском, після чого сканують контрольовані ділянки щупом, сполученим з інфрачервоним течешукачем. Про негерметичність свідчать показання течешукача.

**Параметричний**. Виріб поміщують у камеру, заповнену пробним газом, створюють в камері надлишковий тиск. Про негерметичність свідчить відхилення функціональних характеристик виробу від їх номінальних значень.

### **Рідинні методи**

#### **Гідростатичний:**

– **компресійний**. Виріб заповнюють пробною рідиною і витримують протягом певного часу. Про негерметичність свідчить поява крапель або плям на поверхні виробу або індикаторної маси, нанесеної на цю поверхню;

– **зовнішнім опресуванням**. Виріб занурюють у ванну з пробною рідиною, створюють у ванні надлишковий тиск і витримують виріб протягом певного часу. Про негерметичність свідчить поява крапель або плям на внутрішній поверхні виробу;

– **капілярний**. Контрольовані ділянки оболонки виробу покривають індикаторною масою, протилежну сторону оболонки змочують пробною рідиною. Про негерметичність свідчить поява плям на індикаторній масі.

#### **Люмінесцентний (кольоровий):**

– **компресійний**. Виріб заповнюють під тиском пробною рідиною, що містить люмінесцюючі (фарбувальні) речовини і витримують протягом певного часу, після чого висвітлюють контрольовані ділянки ультрафіолетовим (видимим) світлом. Про негерметичність свідчить поява на поверхні виробу кольорових точок або ліній, що світяться;

– **капілярний**. На оболонку виробу наносять шар рідини, що містить люмінесціючі (фарбувальні) речовини або занурюють його в цю рідину, витримують протягом певного часу, після чого висвітлюють протилежну сторону оболонки ультрафіолетовим (видимим) світлом. Про негерметичність свідчить поява на поверхні кольорових точок або ліній, що світяться;

– **електричний**. Виріб заповнюють пробною рідиною під тиском і витримують протягом певного часу. На контрольовану ділянку встановлюють два електроди, розділених пластинкою або стрічкою з непровідного пористого матеріалу. Про негерметичність свідчить поява струму в ланцюзі, що з'єднує електроди;

– **параметричний**. Виріб поміщують у ванну з пробною рідиною і витримують протягом певного часу. Про негерметичність свідчить відхилення функціональних характеристик виробу від їх номінальних значень.

Залежно від застосовуваного способу визначають місця розташування течі або сумарну негерметичність об'єкта контролю, тобто проводять контроль локальної або сумарної герметичності (дод. 4).

Вибір конкретного методу, способу та системи контролю герметичності визначається призначеними класом або нормою герметичності об'єкта, його конструктивними та технологічними особливостями, умовами випробувань, а також техніко-економічними показниками контролю, при цьому враховують такі фактори:

- контроль сумарної та (або) локальної герметичності об'єкта контролю;
- контроль всього об'єкта та (або) його частини, зварних з'єднань, основного матеріалу тощо;
- величина робочого тиску;
- допустимість контакту застосовуваних речовин (пробна, баластна, індикаторна тощо) з матеріалами об'єкта;
- вимоги до умов контролю;
- кваліфікація та необхідна кількість персоналу;
- питомі та загальні трудові, матеріальні та фінансові витрати;
- заходи безпеки;
- габаритні розміри та маса об'єктів;
- контролепридатність об'єктів;
- забезпечення доступу пробних речовин та засобів їх реєстрації до контрольованих поверхонь та сполук об'єкта контролю;
- наявність у складі об'єкта матеріалів, проникних для пробних речовин або сорбуючих їх (полімери, композиційні матеріали, теплоізолюючі покриття і т. п.);
- періодичність контролю герметичності;
- умови контролю: виробничі, експлуатаційні та ін.

## **Вимоги щодо підготовки поверхні конструкцій, що підлягають контролю герметичності**

1. Контролю герметичності підлягають об'єкти, прийняті за результатами візуального і вимірювального контролю, після остаточної термообробки, якщо така передбачена конструкторською документацією.

2. Якщо на поверхню контрольованого виробу наноситься захисне або інше покриття, контроль герметичності слід проводити перед вказаною операцією або після повного видалення покриття з поверхні контрольованого виробу. Допускається проводити контроль після нанесення покриттів, якщо це зазначено у виробничо-технічній документації.

3. Контроль герметичності матеріалів і зварних з'єднань, що підлягають механічній обробці, в тому числі з вилученням валика посилення шва або виправленням деформації, проводять після виконання зазначених операцій.

4. Перед проведенням контролю з контрольованої поверхні мають бути видалені іржа, окалина, шлак, подрізи та западини між валиками відповідно до вимог Правил контролю, що ставляться до зварних з'єднань при візуальному контролі.

5. Поверхня виробів, складальних одиниць, зварних з'єднань виробів, що підлягають перевірці на герметичність, не повинна мати слідів олії, емульсії та інших забруднень.

Для очищення поверхонь об'єкта контролю від жирових і механічних забруднень застосовуються органічні рідини типу низькокиплячих розчинників, які шляхом природного випаровування видаляються з каналів наскрізних несучільностей (наприклад, спирт етиловий, ацетон, хладон-113, бензин), або водні миючі розчини на основі води та поверхневоактивних речовин, які видаляються з каналів теч після оброблення об'єкта контролю шляхом температурного або температурно-вакуумного сушіння.

Органічні забруднення з доступних ділянок поверхні виробу слід видаляти промиванням органічними розчинниками з подальшим кантуванням виробу або барботуванням залитого розчинника. Об'єм розчинника, що заливається, повинен бути не менше 100 % вільного об'єму виробу.

Після очищення розчинник слід злити і порожнину виробу продути сухим чистим повітрям до повного видалення запаху розчинника.

Якість очищення має бути проконтрольовано протиранням контрольованої поверхні чистою білою безворсовою, м'якою, гігроскопічною бавовняною тканиною бязевої групи з подальшим її оглядом. Відсутність забруднень на тканині свідчить про якісне очищення поверхні.

При відповідному зазначенні в технічному процесі якість очищення має бути проконтрольована оглядом ділянки поверхні виробу або зварного з'єднання в променях ультрафіолетового світла, а при неприпустимості поверхні для огляду в променях ультрафіолетового світла – шматка бязі

після протирання ним поверхні. Відсутність плям, що світяться на контрольованій поверхні або шматку бязі при освітленні їх ультрафіолетовим світлом, свідчить про якісне очищення поверхні.

6. Остаточну операцію підготовки – осушування поверхні виробів і порожнин можливих наскрізних дефектів від вологи та інших рідких середовищ – слід проводити безпосередньо перед контролем герметичності.

Як нагрівальні засоби слід використовувати електropечі, індуктори, калорифери, установки, стенди для пропарювання тощо.

У разі неможливості виконання контролю герметичності виробів безпосередньо після обсушення зберігати обсушений виріб допускається не більше 5 діб за таких умов:

- контрольовані ділянки мають бути захищені від потрапляння забруднень та рідких середовищ захисними матеріалами;
- на поверхні контрольованого виробу не повинна конденсуватися волога атмосферного повітря;

За необхідності транспортування виробів слід виключити можливість забруднення та конденсації вологи на поверхні виробу.

7. Не допускається перед контролем герметичності об'єкта проведення інших видів неруйнівного контролю, які передбачають контакти контрольованих поверхонь з будь-якими рідинами (капілярний контроль, ультразвуковий контроль та ін.), якщо в документації з контролю не передбачені спеціальні заходи з видалення рідин з наскрізних несучильностей об'єкта.

8. Якщо технологічні чи інші операції, що передують контролю герметичності, можуть привести до перекриття течі (деформація матеріалу виробу, закупорка течі та ін.), в документації з контролю герметичності необхідно передбачити операції підготовки, що забезпечують звільнення течі від закупорки. Об'єкти, що підлягають випробуванням на герметичність, перед подачею в їх порожнини надлишкового тиску контрольованого середовища, мають бути випробувані тиском на міцність.

### Практична робота № 3

## КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ МЕТОДОМ ГАСОВОЇ ПРОБИ

**Мета роботи:** ознайомитися з методикою проведення контролю герметичності методом гасової проби; визначити його особливості; провести контроль зварних зразків; вказати причини утворення дефектів і засоби їх усунення.

### Теоретичні відомості

Контроль зварних швів виробів на герметичність (непроникність) проводиться в тих випадках, коли вони призначені для роботи під дією рідини або газів, а також у вакуумі. Одним з найпоширеніших методів контролю герметичності зварних з'єднань є контроль гасом або «гасова проба».

Випробування зварних швів гасом ґрунтується на його високій прони́кній здатності в найменші капіляри, якими є дефекти зварних з'єднань.

Оптимальність поверхневого натягу гасу і незначна в'язкість сприяють хорошему змочуванню металу, а також порівняно швидкому руху гасу під дією поверхневих і капілярних сил як у течах, так і на відкритих поверхнях (табл. 3.1). Крім цього, гас розчиняє масляні плівки, котрі закупорюють течі.

Таблиця 3.1

Фізичні властивості деяких рідин

Рідина	В'язкість, Па/с	Поверхневий натяг, мН/м	Коефіцієнт проникності, м/с	Кут змочування, градус
Вода	0,1006	73,8	0,59	6
Етиловий спирт	0,1192	22,0	0,30	0
Бензин	0,0649	28,9	0,47	0
Гас	0,0690	26	0,425	0

Цей метод використовують для визначення щільності зварних швів на металі товщиною до 10 мм. Гасовою пробою виявляють дефекти розміром 0,1 мм і більше (рис. 3.1).

Випробуванню гасом піддаються головним чином відкриті посудини-резервуари, цистерни та інші вироби, які використовують для зберігання рідин.

Перевірка зварних швів гасом не підходить для кількісної характеристики та оцінювання характеру дефектів, але є точною методикою підтвердження цілісності шва.

**Порядок проведення контролю**

Підготовка контрольованої поверхні відповідно до вимог (див. с. 62).

Нанесення на один бік адсорбуючого покриття м'якою кистю або розпилювачем тонкими рівними шарами суспензії (водний розчин крейди 450 г на 1 л), відстань між соплом і поверхнею з'єднання повинна бути такою, щоб суспензія, досягнувши поверхні, була майже сухою.

Сушіння адсорбуючого покриття на контрольованій поверхні для прискорення висихання допускається обдуванням покриття гарячим повітрям (температура – до 60 °С).

Нанесення на другій бік контрольованої поверхні пензлем або тампоном проникаючої рідини.



Рис. 3.1. Контроль герметичності методом гасової проби

Виявлення дефектних ділянок зварного з'єднання за наявності жирних плям на адсорбуючому покритті. Плями, які з'являються в місцях течі, мають найбільшу швидкість збільшення протягом перших 5...15 хвилин, тому місця їх появи необхідно терміново відмічати.

Якщо впродовж години на контрольованій поверхні не з'являються плями гасу, то зварне з'єднання вважається таким, що витримало випробування

Необхідно зазначити, що проникність гасу через капілярні отвори і пори в основному залежить від поверхневого натягу гасу і його в'язкості. При підвищенні температури в'язкість гасу зменшується і швидкість проникнення його через нещільність шва збільшується. У зв'язку з цим для скорочення часу контролю дозволяється змазувати гасом зварені шви, попередньо нагріті до температури 60...70 °С.

У виробках з напускними з'єднаннями випробовування на щільність проводять таким чином. У виробі просвердлюють отвір, через який внапуск нагнітається під тиском гас. Контрольовані шви завчасно покривають адсорбуючим покриттям. Проте у зв'язку із труднощами видалення гасу напускові шви краще перевіряти на щільність за допомогою стисненого повітря. У тих випадках, де це неприпустимо за умовами роботи конструкції, залишки гасу мають випалюватися паяльною лампою або пальником.

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з суттю контролю герметичності методом газової проби.
2. Ознайомитися з технічними засобами проведення контролю.
3. Отримати у викладача: креслення зварних з'єднань, необхідні матеріали.
4. Підготувати зразки зварних з'єднань.

#### 4.1. Зварне (внапуск) з'єднання (рис. 3.2):

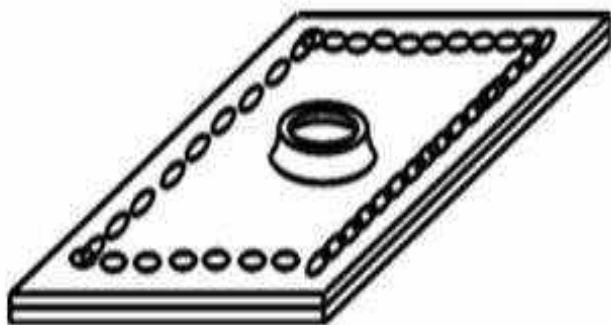


Рис. 3.2. Зразок для контролю герметичності методом газової проби

- підготувати пластини: обезжирити, очистити від бруду;
- просвердлити в одній із пластин отвір діаметром 10 мм;
- зварити на різних режимах шовним зварюванням дві пластини внапуск з чотирьох сторін;
- зачистити поверхню шва до металічного блиску;
- провести візуальний огляд отриманих зразків.

#### 4.2. Стикове з'єднання:

- зачистити дві пластини, обезжирити;
- зварити дві пластини встик;
- зачистити поверхню шва до металевого блиску;



- провести візуальний огляд отриманих зразків.
- 5. Підготувати розчин крейди:
  - розмішати мелену крейду у воді до стану густої побілки;
  - процідити розчин через марлю чи дрібне сито.
- 6. Контроль нещільності зварених з'єднань:
  - за допомогою пензлика покрити зварні шви і прилягаючі до них ділянки основного металу шириною 10...15 мм водно-крейдяним розчином (для стикового шва – лицьову сторону);
  - просушити крейдяний шар (за допомогою електричної плити або рефлектора);
  - налити через отвір в пластині гас в середину напускного з'єднання;
  - за допомогою пензлика змочити гасом зворотну сторону шва стикового з'єднання;
  - протягом 15...30 хвилин ретельно стежити за появою перших точок чи смужок на крейдовому шарі, відмітити ділянки, на яких появляються жирні плями.
- 7. Оформити звіт відповідно до форми (табл. 3.2).
- 8. Зробити висновок щодо дефектності зварних з'єднань, причин виникнення дефектів.
- 9. Визначити шляхи усунення наявних зварних дефектів.

### **Обладнання й матеріали**

1. Пост для шовного зварювання.
2. Машина для шовного зварювання МШ-1601.
3. Пост для дугового зварювання.
4. Рефлектор.
5. Серветки.
6. Пластина для стикового зразка 200x50x3, шт. .... 2
7. Пластини з низьковуглецевої сталі розміром 50x50 мм і завтовшки 1...2 мм, зварювання внапуск, шт. ....2
8. Електроди, шт. ....4
9. Крейда, кг.....0,100
10. Вода, л .....0,5
11. Гас, кг.....0,25

### **Зміст звіту**

1. Суть процесу контролю герметичності методом газової проби.
2. Особливості гасу як пробної речовини.
3. Ескізи об'єктів контролю.
4. Протокол режиму зварювання й випробування зразків (табл. 3.2).
5. Вибір та обґрунтування режиму зварювання герметичного шва.

## Протокол зварювання та випробування зразків

Номер зразка	Матеріал_____ Товщина матеріалу_____ Ширина ролика_____							Результати випробування на герметичність
	Режим зварювання							
	$F_{cm}$	Ступінь потужності	$t_i$	$t_n$	$m$	$l$	$V_{зв}$	
1								

**Контрольні запитання**

1. Які вироби піддаються випробуванням на щільність за допомогою гасу?
2. На чому базується такий спосіб контролю?
3. Для чого шов з одного боку спочатку покривають водно-крейдяним розчином?
4. Які з'єднання можна перевіряти цим методом на щільність?
5. За якими ознаками виділяють дефектні ділянки?
6. Чи можливо таким методом виявити ненаскрізні дефекти?
7. Якою залежністю можна описати процес проникнення рідини в тріщини, інші дефекти матеріалу?
8. Що являє собою коефіцієнт проникності?
9. Яка залежність між коефіцієнтом проникнення і швидкістю проникності?

**Практична робота № 4****КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ ПНЕВМАТИЧНИМ ВИПРОБУВАННЯМ**

**Мета роботи:** ознайомитися з методикою й освоїти техніку пневматичної та гідравлічної методик випробувань зварних з'єднань

**Теоретичні відомості**

**Підготовка до проведення контролю герметичності об'єкта газовими методами** повинна забезпечити її очищення від забруднень, а канали передбачуваних теч – від перекриття. Загальні вимоги до підготовки об'єкта контролю повинні відповідати наведеним на с. 62.

З каналів наскрізних дефектів повинні бути видалені вода та інші рідини, щоб забезпечити їх проникність для пробних речовин при контролі герметичності. На поверхні об'єкта контролю, складальних одиниць, зварних з'єднань, що підлягають контролю на герметичність, не повинно бути слідів іржі, масла, емульсії та інших механічних і жирних забруднень, а також лакофарбових та інших покриттів.

Органічні забруднення з доступних ділянок поверхні об'єкта контролю слід видаляти промиванням органічними розчинниками. Забруднення з недоступних внутрішніх поверхонь об'єкта контролю слід видаляти шляхом заповнення порожнини об'єкта контролю розчинником, струминним очищенням або іншими методами.

Як очищувальні рідини слід використовувати спирт, ацетон, бензин, хладон-113 або інші органічні низькокиплячі розчинники, що забезпечують якісне видалення органічних забруднень.

Після очищення розчинник слід видалити сушінням або протиранням чистою білою безворсовою тканиною, а порожнину об'єкта контролю – продути сухим чистим повітрям до повного видалення запаху розчинника.

Якість очищення має бути проконтрольовано протиранням контрольованої поверхні чистою білою безворсовою тканиною з наступним її оглядом. Відсутність забруднень на тканині свідчить про якісне очищення поверхні.

Остаточну операцію підготовки – обсушування поверхні об'єкта контролю і порожнин можливих наскрізних дефектів від вологи та інших рідких середовищ – слід проводити безпосередньо перед контролем герметичності. Після обсушування для збереження чистоти об'єкта контролю роботи слід проводити в чистому спецодязі (халаті або спецівці) і бавовняних рукавичках.

Як нагрівальні засоби слід використовувати електropечі, індуктори, калорифери, установки, стенди для пропарювання та ін. Для нагріву допускається використовувати метод електроопору із застосуванням змінного або постійного струму, якщо це допускається вимогами НД.

Початок і закінчення витримки при заданій температурі визначається після досягнення металом зони контролю зазначеної температури по всій його товщині.

У разі неможливості виконання контролю герметичності об'єкта контролю безпосередньо після обсушування зберігати обсушений об'єкт не більше 5 діб.

### **Контроль герметичності бульбашковим методом**

Бульбашковий метод базується на реєстрації проникаючого через течі пробного газу за бульбашками в індикаторній рідині, що контактує з контрольованою поверхнею об'єкта контролю. Які пробний (контрольний) газ застосовують повітря, азот та інші гази, які не розчиняються в індикаторній рідині. Метод може бути застосований для контролю локальної герметичності обладнання, трубопроводів та інших елементів наддуванням повітря, пневмогідравлічним акваріумним, пухирцевовакуумним способами.

*Випробування стисненим повітрям* застосовується тільки для закритих посудин. Для випробування в посудину з попередньо заглушеними

отворами подається стиснене повітря під тиском 1,0...2,0 атм. Зовні всі шви змочуються мильною водою, і стиснене повітря, виходячи через нещільності, утворює мильні бульбашки, за якими визначають дефекти у швах і виправляють їх.

Необхідно зазначити, що випробування повітрям при неправильній підготовці виробів або подачі повітря без чутливого манометра і запобіжного клапана становить значну небезпеку. Кришки й заглушки перед випробуванням мають бути надійно закріплені.

Суть *пневматичного способу* (рис. 3.3) полягає в тому, що об'єкт контролю заповнюється пробним (контрольним) газом (повітря, азот, інертні гази) під тиском на 25 % більше робочого. На контрольовану поверхню ОК наносять тонкий шар піноутворювальної рідини індикаторного складу (табл. 3.3), як такий допускається застосовувати мильну емульсію, піноплівковий індикатор або їх аналоги. Пробний газ в місцях течі утворює бульбашки або розриви в шарі мильної емульсії, бульбашки і пінні кокони або розриви в шарі піноплівкового індикатора. Мильну емульсію застосовують у спіненому вигляді, піноплівковий індикатор – переважно у вигляді суцільної плівки.

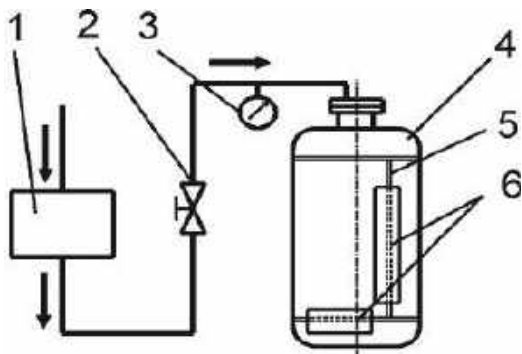


Рис. 3.3. Схема пневматичного випробування на герметичність:

- 1 – компресор; 2 – вентиль;
- 3 – манометр; 4 – об'єкт контролю;
- 5 – піноплівковий індикатор

контролю заповнюється пробним (контрольним) газом (повітря, азот, інертні гази) під тиском на 25 % більше робочого. На контрольовану поверхню ОК наносять тонкий шар піноутворювальної рідини індикаторного складу (табл. 3.3), як такий допускається застосовувати мильну емульсію, піноплівковий індикатор або їх аналоги. Пробний газ в місцях течі утворює бульбашки або розриви в шарі мильної емульсії, бульбашки і пінні кокони або розриви в шарі піноплівкового індикатора.

Мильну емульсію застосовують у спіненому вигляді, піноплівковий індикатор – переважно у вигляді суцільної плівки.

Таблиця 3.3

Піноутворювальні та індикаторні склади рідин

Типи складу рідини	Кількість
Склад А:	
Вода, см <sup>3</sup>	100
Мило туалетне або господарське 65%-не, г	50
Склад Б:	
Вода, см <sup>3</sup>	100
ПАР – піноутворювач, г	15
Піноплівковий індикатор	
Декстрин, г	5...15
Регулятор рН середовища, г	0,5...1
Поверхнево-активна речовина	0,5...1
Гліцерин з низькомолекулярним спиртом у співвідношенні 2:1, г	3...30
Інше	Вода

Примітка. Мило (ПАР) ретельно розмішують в теплій воді до повного розчинення. При роботі в зимовий період для запобігання піноутворювального складу від замерзання до складу Б додається хлористий кальцій або хлористий натрій.

**Порядок проведення контролю:**

– в об'єкті контролю створюється необхідний надлишковий тиск пробного газу;

– м'якою щіткою або фарборозпилювачем на контрольовану поверхню об'єкта контролю наносять піноутворювальний склад і здійснюють візуальне спостереження.

Час спостереження за станом поверхні при нанесенні мильної емульсії становить не більше 2...3 хв після її нанесення на поверхню.

Для виключення пропуску великої течі необхідно проводити спостереження за шаром піноутворювальної рідини безпосередньо в процесі її нанесення.

При використанні піноплівкового індикатора для контролю герметичності з 4-м класом чутливості час витримки під випробувальним тиском становить не менше 15 хв.

Після завершення контролю мильну емульсію або піноплівковий індикатор видаляють з контрольованих поверхонь об'єкта контролю водою шляхом промивання або протирання вологими серветками.

Іноді для підвищення чутливості пневматичних випробувань усередину посудини нагнітається повітря в суміші з аміаком у кількості 1% від об'єму повітря в посудині. Перед цим випробуванням шви покривають паперовою стрічкою, просоченою 5%-м водяним розчином азотнокислої ртуті або спиртовим розчином фенолфталеїну. За наявності в шві пор, тріщин або інших дефектів, що впливають на щільність швів, аміак проходить через них і діє хімічно на просочений азотнокислою ртуттю або фенолфталеїном папір. У місцях нещільності на папері залишаються чорні або фіолетові плями. Витримка під тиском становить 1...5 хв, після чого папір (або бинт) знімають. Вони слугують документом при визначенні якості шва.

Випробування аміаком є більш продуктивним, дешевшим і точнішим, ніж спосіб випробування повітрям.

Великою перевагою перевірки на щільність швів аміаком є можливість застосувати цей спосіб в зимових умовах при низьких температурах.

**Суть пневмогідравлічного способу акваріума** (рис. 3.4) полягає в тому, що об'єкт контролю, який заповнений газом під надлишковим тиском (для виключення закупорки каналів передбачуваної течі водою), занурюють у воду або іншу рідину, яка відповідає встановленим вимогам. Газ, що виходить в місцях течі з об'єкта контролю, спричиняє утворення бульбашок в рідині.

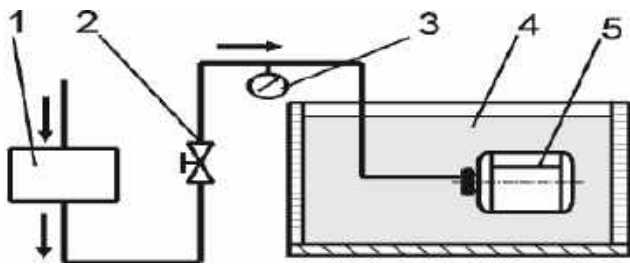


Рис. 3.4. Схема пневмогідралічного контролю герметичності:  
 1 – компресор; 2 – вентиль;  
 3 – манометр; 4 – ємність з водою;  
 5 – об'єкт контролю

### Порядок проведення контролю:

- об'єкт контролю поміщають в ємність (акваріум);
- в об'єкті контролю створюється випробувальний тиск пробного газу;
- в ємність заливають рідину до рівня не менше 100...150 мм над контрольованою поверхнею об'єкта контролю.

Ознакою течі в об'єкті контролю є спливаючі до поверхні рідини бульбашки повітря, що періодично утворюються на певній ділянці поверхні об'єкта контролю, або рядки пухирців.

**Суть пухирцевого вакуумного способу** полягає в тому, що на контрольовану ділянку наносять піноутворювальний склад, потім на нього встановлюють вакуумну камеру – "присос", в якій створюється вакуум. Під дією перепаду тиску на стінці об'єкта контролю через течі в камеру надходить повітря і утворює пухирці, кокони або розриви індикаторного покриття, видимі через прозорий верх (вікно) камери. Спосіб застосовується переважно для контролю герметичності незамкнених конструкцій.

Для забезпечення повного контролю за всією поверхнею зварного з'єднання вакуум-камеру переставляють і встановлюють так, щоб вона перекривала на 50...100 мм попередню проконтрольовану ділянку шва.

Вакуумна камера являє собою корпус, виготовлений з органічного скла або металу, з відкритим дном, по контуру якого зроблено еластичне ущільнення. Для спостереження за зварним з'єднанням при випробуванні камера закрита зверху органічним склом.

Вакуум-камера може мати різну форму залежно від конструкції об'єкта контролю і виду зварного з'єднання. Для стикових зварних з'єднань листових конструкцій виготовляють плоскі камери (рис. 3.5), для кутових швів – кутові, для контролю кільцевих швів трубопроводів можуть бути виготовлені кільцеві камери.

Контролю пухирцевим вакуумним методом можуть піддаватися стикові, кутові й напусткові зварні шви.

### Порядок проведення контролю:

- на контрольовану ділянку об'єкта контролю наносять тонкий шар піноутворювального складу без пухирців, пропусків і патьоків;
- на контрольовану ділянку встановлюють вакуумну камеру;
- вакуумну камеру вакуумують до залишкового тиску  $2,5 \dots 3 \cdot 10^4$  Па;
- здійснюють візуальний огляд контрольованої ділянки для виявлення

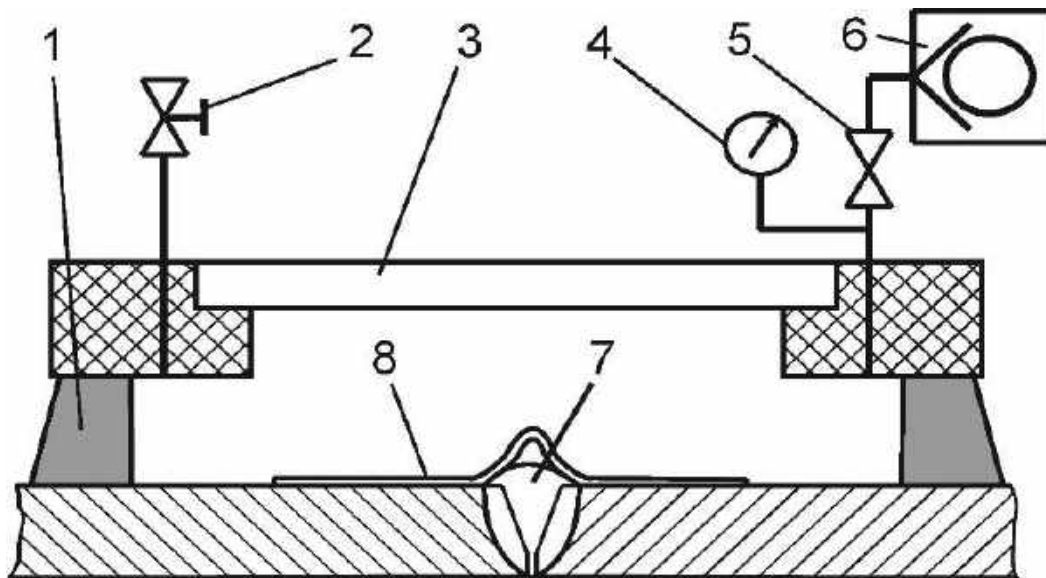


Рис. 3.5. Схема вакуум-камери для контролю герметичності:

1 – еластичне ущільнення; 2 – клапан напуску атмосфери; 3 – вікно; 4 – індикатор вакууму; 5 – клапан вакуумування; 6 – вакуумний насос; 7 – теча в зварному з'єднанні; 8 – піноутворювальний склад

зростаючих пухирців і пінного здуття, а також оголеного металу, що утворюється після руйнування пухирця, які є ознаками течі;

– час з моменту нанесення складу до огляду не повинен перевищувати 10 хв, для виключення пропуску великих теч спостереження за індикаторним покриттям ведеться з початку вакуумування камери.

### Порядок виконання роботи

1. Перед виконанням роботи потрібно вивчити теоретичний матеріал.
2. Ознайомитися з запропонованими викладачем об'єктами контролю, визначити прийнятні методи контролю.
3. Пневматичний контроль.
  - 3.1. Підготувати об'єкти контролю (див. с. 62).
  - 3.2. Виконати контроль шва зовнішнім оглядом.
  - 3.3. Підготувати піноутворювальний індикаторний склад (див. табл. 3.3).
  - 3.4. Покрити зварені шви об'єкта контролю піноутворювальним індикаторним складом.
  - 3.5. Увімкнути компресор.
  - 3.6. Установити тиск в об'єкті контролю.
  - 3.7. Здійснити візуальний огляд контрольованого об'єкта. За пухирцями повітря, що утворюються, визначити місця дефектів. Зарисувати шов і відзначити на ньому місця розташування дефектів.



3.8. Видалити з контрольованих поверхонь мильну емульсію або піноплівковий індикатор.

4. Пневматичний контроль стисненим повітрям і аміаком.

4.1. Підготувати об'єкти контролю (див. с. 60).

4.2. Виконати контроль шва зовнішнім оглядом.

4.3. Підготувати паперову стрічку, просочену 5%-ним водяним розчином азотнокислої ртуті чи спиртовим розчином фенолфталеїну.

4.4. Покрити зварені шви об'єкта контролю стрічкою.

4.5. Увімкнути компресор.

4.6. Нагнітити повітря в суміші з аміаком в об'єкт контролю. Зазвичай буває надлишкового тиску достатньо 0,01...0,02 МПа.

4.7. Здійснити візуальний огляд контрольованого об'єкта. У місцях нещільності на папері залишаються чорні чи фіолетові плями. Зарисувати шов і відзначити на ньому місця розташування дефектів.

4.8. Видалити з контрольованих поверхонь індикаторну стрічку.

5. Пневмогідравлічний контроль.

5.1. Підготувати об'єкти контролю (див. с. 60).

5.1. Виконати контроль шва зовнішнім оглядом.

5.2. Підготувати ємність з водою.

5.3. Об'єкт контролю занурити в ємність з водою на глибину 20...50 мм від поверхні води.

5.4. Увімкнути компресор, створити надмірний тиск 1,3...1,5 від робочого.

5.5. Здійснити візуальний огляд контрольованого об'єкта. За бульбашками повітря, що утворюються, визначити місця дефектів.

5.6. Зняти тиск.

5.7. Відзначити дефектні місця.

5.8. Зарисувати шов і відзначити на ньому місця розташування дефектів.

6. Пухирковий вакуумний контроль.

6.1. Підготувати вакуумну камеру.

6.2. Виконати контроль шва зовнішнім оглядом.

6.3. Підготувати об'єкт контролю.

6.4. Підготувати піноутворювальний склад, ретельно перемішавши мило з водою до повного його розчинення.

6.5. Очистити металевою щіткою поверхню зварного шва від шлаку, мастила та бруду.

6.6. Нанести на контрольовану ділянку за допомогою пензликів піноутворювальний склад.

4.7. Установити на контрольовану ділянку вакуумну камеру.

4.8. Створити в камері вакуум.

4.9. Здійснити візуальний огляд контрольованої ділянки для виявлення зростаючих пухирців і пінного здуття.

4.10. З'єднати камеру з атмосферою.

4.11. Зняти камеру.

4.12. Видалити залишки піноутворювального складу.

4.13. Відмітити дефектні місця крейдою.

4.14. Зарисувати шов і відзначити на ньому місця розташування дефектів.

7. Оформити звіт відповідно до форми.

8. Зробити висновок щодо дефектності зварних з'єднань, причин виникнення дефектів.

9. Визначити шляхи усунення наявних зварних дефектів.

### **Обладнання й матеріали**

1. Об'єкти контролю.

2. Компресор.

3. Вакуумна камера.

4. Вакуумний насос.

5. Серветки.

6. Ємність для води.

7. Вода.

8. Матеріали для піноутворювального складу.

9. Паперові стрічки.

10. Ємності для приготування піноутворювального складу.

11. 5%-ний водяний розчин азотнокислої ртуті або спиртовий розчин фенолфталеїну.

12. Пензлик.

### **Зміст звіту**

1. Контроль герметичності газовими методами.

2. Ескізи об'єктів контролю.

3. Схеми прийнятих методів контролю герметичності, їх суть.

4. Методика проведення контролю відповідно до прийнятих методів.

5. Результати контролю.

6. Висновки.

### **Контрольні запитання**

1. Як здійснюється пневматичне випробування малогабаритних виробів?

2. Як здійснюється пневматичне випробування великогабаритних виробів?

3. Суть випробування зварених швів аміаком.

4. Що вказує на наявність дефектів у зварних швах при випробуванні стисненим повітрям і аміаком?
5. Назвіть області раціонального застосування пневматичних методів контролю.
6. Яка хімічна реакція призводить до забарвлення фенолфталеїну у червоний колір?
7. Склад пінних індикаторів для контролю вакуумуванням.
8. Порядок роботи з випробування зварних швів вакуумуванням.
9. Що вказує на наявність дефектів зварних швів при випробуваннях вакуумуванням?

## ПАРАМЕТРИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ

Таблиця Д.1.1

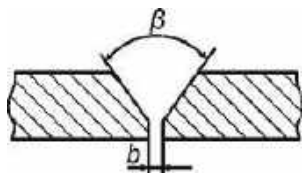
Контрольовані параметри і засоби вимірювань  
при підготовці деталей і складальних одиниць до складання

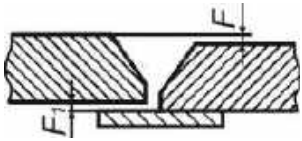
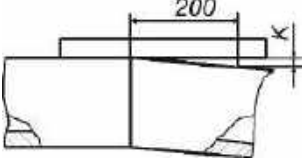
Параметри форми, що підлягають контро- лю	Засоби вимірювання. Вимоги до вимірювань	Зображення
Крайка деталі без скосу, зі скосом для одностороннього зварювання, з двома симетричними (або несиметричними) скосами для двостороннього зварювання		
Перпендикулярність крайки	Кутомір або шаблон універсальний.	
Кут скосу крайки $\alpha$	Вимірювання в одному місці	
Притуплення крайки $c$	Штангенциркуль, шаблон уні- версальний. Вимірювання не менше ніж в трьох точках по довжині в з'єднаннях листів	
Глибина скосу крайки $M$	Розмір довідковий, вимірюван- ню не підлягає	
Крайка з "вусом" для одностороннього зварювання (включаючи зварювання неплавким електродом у захисному газі)		
Кут скосу крайки $\alpha$	Кутомір або шаблон універсальний. Вимірювання в одному місці	
Ширина "вуса" $B$	Штангенциркуль.	
Товщина "вуса" $c_1$	Вимірювання не менше ніж в трьох точках по довжині	
Радіус $R^*$ (у випадках, спеціально зазначених у НД)	Набір шаблонів. Вимірювання не менше ніж в трьох точках по довжині	
Скіс поверхні деталі, що значно відрізняється за товщиною від деталі, з якою з'єднується		
Ширина скосу поверхні $M$	Штангенциркуль. Вимірювання не менше ніж в трьох точках по довжині	
Товщина деталі в місці стику $S$		
Кути скосу поверхні $\psi, \psi_1$		

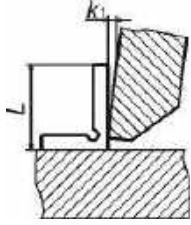
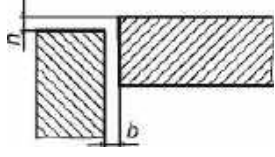
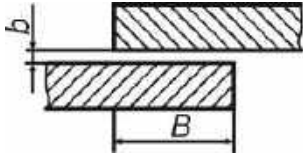
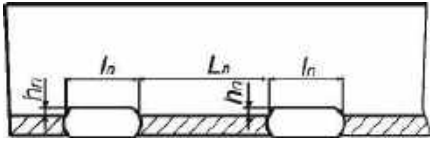
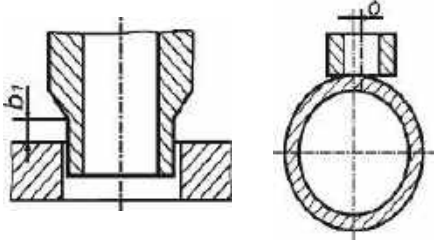
Параметри форми, що підлягають контролю	Засоби вимірювання. Вимоги до вимірювань	Зображення
<b>Зона зачищення деталей під зварювання</b>		
Ширина зони зачищення $Z, Z_1$	Штангенциркуль, лінійка. Вимірювання не менше ніж в трьох точках по довжині	
<b>Розточування штуцера (патрубка) під отвір колектора (труби)</b>		
Кут скосу крайки $\alpha$	Кутомір або шаблон універсальний	
Діаметр ( $d_0$ ), довжина ( $B$ ) розточування штуцера (патрубка)	Штангенциркуль	
Внутрішній діаметр штуцера $d_e$		
<b>Підкладна пластина, що залишається</b>		
Ширина підкладної пластини $B_{п}$	Штангенциркуль, лінійка. Вимірювання не менше ніж в трьох точках по довжині	
Товщина підкладної пластини $S_{п}$		
<b>Відхилення від перпендикулярності торця труби</b>		
Лінійне відхилення торця труби від площини, перпендикулярної до осі труби $f$		

Таблиця Д.1.2

Контрольовані параметри і засоби вимірювань  
при складанні деталей під зварювання

Контрольований параметр	Засоби вимірювання. Вимоги до вимірювань	Рисунок з'єднання в складанні
<b>Стикове з'єднання зі скосом крайок</b>		
Кут розкриття крайок $\beta$	Кутомір або шаблон універсальний. Вимірювання в одному місці	
Зазор $b$	Щуп, шаблон універсальний. Вимірювання через метр по довжині шва, але не менше ніж в трьох перерізах	

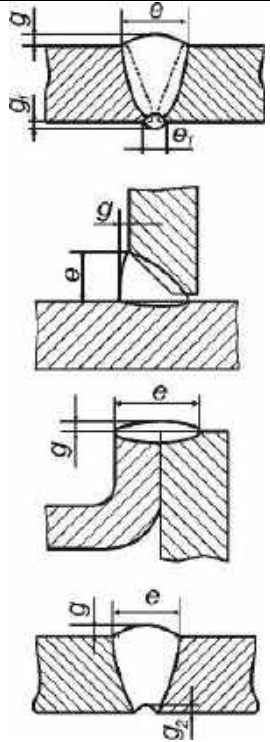
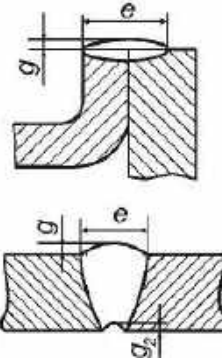
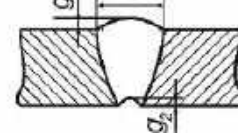
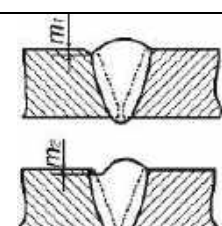
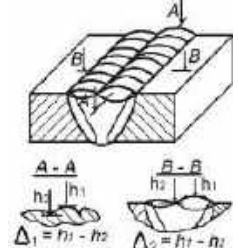
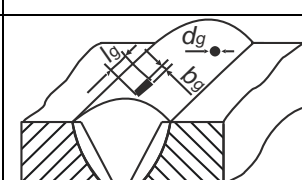
Контрольований параметр	Засоби вимірювання. Вимоги до вимірювань	Рисунок з'єднання в складанні
Складання стикового з'єднання. Лінійне зміщення крайок		
Величина лінійного зміщення крайок $F$ , $F_1$	Лінійка і щуп. Вимірювання не рідше ніж через один метр по довжині шва, але не менше ніж в трьох перерізах	
Складання стикового з'єднання. Кутове зміщення осей циліндричних елементів або поверхонь пластин		
Зазор між лінійкою і поверхнею $k$ на відстані $L$	Лінійка і щуп. Вимірювання не рідше ніж через один метр по довжині, але не менше ніж в трьох перерізах	
Складання стикового з'єднання. Недостатнє прилягання підкладної пластини до внутрішньої поверхні деталі		
Величина зазору між поверхнею підкладної пластини та поверхнею деталі $F_1$	Шаблон універсальний або спеціальний. Вимірювання не менше ніж в трьох точках по довжині (периметру) з'єднання	
Складання стикового з'єднання. Перелом осей циліндричних елементів і кутовий зсув поверхонь листів		
Перелом осей циліндричних елементів і кутовий зсув поверхонь листів $K$	Лінійка ( $L = 400$ мм) і щуп. Вимірюється в 2 – 3 перерізах (у зоні максимального зламу) на відстані 200 мм від центру з'єднання	
Складання таврового з'єднання з одностороннім скосом крайки під зварювання з повним проплавленням		
Зазор у з'єднанні $b$	Щуп, шаблон універсальний. Вимірювання не рідше ніж через метр по довжині шва, але не менше ніж в трьох перерізах	
Кут розкриття крайок $\beta$	Кутомір або шаблон універсальний. Вимірювання в одному місці	

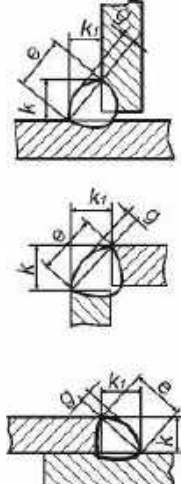
Контрольований параметр	Засоби вимірювання. Вимоги до вимірювань	Рисунок з'єднання в складанні
<b>Складання таврового з'єднання</b>		
Зазор між кутником і поверхнею елемента на відстані $L, k_1$	Штангенциркуль, лінійка. Вимірювання не менше ніж в трьох точках по довжині	
<b>Складання кутового з'єднання</b>		
Зазор між деталями у складанні $b$	Щуп. Вимірювання не менше ніж в трьох перерізах по довжині	
Зміщення деталей відносно одна одної $n$	Лінійка, щуп. Вимірювання не менше ніж в трьох точках по довжині	
<b>Складання напускного з'єднання</b>		
Зазор у з'єднанні $b$	Щуп. Вимірювання не менше ніж у двох точках по довжині	
Величина напуску $B$	Лінійка. Вимірювання не менше ніж у двох точках	
<b>Прихоплення</b>		
Довжина прихоплення $l_n$	Лінійка і штангенциркуль. Вимірювання кожного прихоплення	
Висота прихоплення $h_n$	Штангенциркуль. Вимірювання кожного прихоплення	
Відстань між прихватками $L_n$	Лінійка. Вимірювання, якщо регламентується ТД	
<b>Приварювання штуцера</b>		
Несиметричність штуцера $\delta$	Лінійка. Вимірювання не менше ніж у двох точках по довжині	
Глибина проникнення штуцера у внутрішню порожнину $b_1$	Шаблон спеціальний	



Таблиця Д.1.3

Типові параметри форми зварних з'єднань,  
що підлягають візуальному та вимірному контролю

Контрольований параметр	Засоби вимірювання. Вимоги до вимірювань	Рисунок з'єднання в складанні
Зварні з'єднання (стикове, торцеве, а також таврове і кутове з повним проплавленням), виконані стиковим швом		
Ширина стикового звареного шва $e$ , $e_1$	Штангенциркуль або шаблон універсальний. Контроль проводити в місцях, зазначених у робочих кресленнях, НД, ПТД або ГДК, а також в місцях, де допустимість зазначених показників викликає сумніви за результатами візуального контролю	
Опуклість: лицьової сторони зварного шва $g$ ; зворотної сторони шва (кореня) $g_1$	Штангенциркуль. Контроль проводити аналогічно контролю ширини шва	
Увігнутість зворотної сторони шва $g_2$	Штангенциркуль. Вимірювання в 2 – 3 місцях у зоні максимальної величини	
Глибина: підрізу (неповного заповнення розробки) $m_1$ ; западання шва $m_2$	Штангенциркуль, в тому числі модернізований. Пристрої для вимірювання глибини підрізів	
Лускатість шва Глибина западання між валиками	Штангенциркуль. Вимірювання не менше ніж в чотирьох точках по довжині шва	
Розміри (діаметр $d_g$ , довжина $l_g$ , ширина $b_g$ ) одиничних несучильностей	Луца вимірвальна. Вимірюванню підлягає кожна несучильність	

Контрольований параметр	Засоби вимірювання. Вимоги до вимірювань	Рисунок з'єднання в складанні
Зварні з'єднання (кутове, таврове та напускне), виконані кутовим швом		
Катет кутового шва $k, k_1$	Штангенциркуль, або шаблон універсальний. Контроль проводити в місцях, зазначених у робочих кресленнях, НД, ПТД або ГДК, а також в місцях, де допустимість зазначених показників викликає сумніви за результатами візуального контролю	

Таблиця Д.1.4

## Експлуатаційні дефекти виготовленого зварного з'єднання

Назва дефекту	Визначення дефекту
Тріщини втоми	<p>Тріщини втоми виникають під дією змінних (циклічних) навантажень у поверхневому шарі металу). На появу тріщин втоми і повзучості робить вплив низька пластичність металу, наявність концентраторів напружень (забоїни, ризики, різкі переходи від шва до основного металу, від однієї товщини до іншої), наявність металургійних і технологічних дефектів, дефектів несучільностей у зварному шві, а також структурні зміни, пов'язані зі зміцненням і знеміцненням металу у процесі експлуатації.</p> <p>Великий вплив на втому робить зміна температурних умов експлуатації (тепозміни) і дія корозійного середовища. При дії змінних навантажень у найбільш слабкому місці виробу, де спричиняється залишкове напруження, що перевищує границю витривалості, з'являються мікротріщини, які розвиваються надалі до втомних тріщин. При цьому руйнування з'єднання відбувається при значно меншому напруженні.</p> <p>Поява тріщин повзучості пов'язана з повільним наростанням у часі пластичною деформацією матеріалу при тривалих механічних діях і нагріванні</p>

Назва дефекту	Визначення дефекту
Тріщини-надриви	Розрив металу під дією постійних (статичних) або одноразових (динамічних) навантажень, коли напруження перевищують границю міцності. Розрив виникає зазвичай у поверхневому шарі металу в місцях концентрації напружень
Корозійні пошкодження	Суцільні або локальні пошкодження металу, які виникають у результаті електрохімічних процесів, що проходять за наявності агресивного середовища (кисню, води, кислот, лугів тощо). Суцільна (рівномірна і нерівномірна) та місцева (виразкова, щілинна, точкова, поверхнева) корозія приводять до зменшення товщини металу. Місцева міжкристалічна та стрескорозія (або корозія під напруженням) приводять до утворення тріщин
Механічні пошкодження	Забоїни, вм'ятини, задирки, rischi, наклеп тощо. Причини їх виникнення різні
Механічне зношення	<p>Поступова зміна розмірів і форми елементів металоконструкції внаслідок відокремлення з поверхні частинок металу. Механічне зношення за причинами свого виникнення поділяють :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– на фрикційне (при терті сполучених поверхонь елементів);</li> <li>– абразивне (стирання твердими частинками зовнішнього середовища);</li> <li>– гідроабразивне (стирання твердими частинками в потоці рідини);</li> <li>– газоабразивне (стирання твердими частинками в потоці газу);</li> <li>– ерозійне (при впливі потоку рідини або газу);</li> <li>– кавітаційне (вібраційне порушення при утворенні і хлопанні газових пухирців у рідині);</li> <li>– втомне (виникає при змінних навантаженнях)</li> </ul>
Залишкові відхилення положення і форми елементів металоконструкції	Необоротні (залишкові) зміни геометричного положення і форми основи, осідання фундаментів і пластичної деформації металоконструкції в умовах експлуатації. Пластична деформація пов'язана з виникненням і розвитком пошкоджень у матеріалі металоконструкції

## ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ КАРТИ ОПЕРАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ

Карта (схема) операційного контролю розробляється виробничою організацією (підприємством), що виконує виготовлення, монтаж, ремонт або реконструкцію металоконструкцій, або спеціалізованою проєктно-технологічною організацією, що виконує підготовку виробництва. Карта (схема) є звітним документом, в якому реєструються результати контролю робіт переважно при підготовці деталей до зварювання і складання деталей під зварювання.

Карта операційного контролю має містити такі відомості:

- назву організації (підприємства) і служби, що здійснюють операційний контроль;
- назву металоконструкції (або її елемента) із зазначенням ПІД (робочого креслення, зварного формуляра тощо);
- наявність маркування та/або документації, що підтверджує приймання деталей, напівфабрикатів і виробів при входному контролі;
- чистоту і відсутність пошкоджень на крайках і поверхнях деталей, що примикають до них;
- форму і розміри крайок, розточення (роздачі, калібрування) деталей;
- наявність і вид спеціальних прийомів підготовки і складання деталей (наплавлення на крайках і внутрішніх поверхнях, підгинання);
- відповідність вимогам ВТД матеріалу, форми і розмірів підкладних пластин (кілець, розплавлених вставок);
- відповідність вимогам ВТД величин зазорів, зміщення крайок (із зовнішньої та внутрішньої сторін), переламу осей і площин деталей, що з'єднуються, у зібраному під зварювання з'єднанні;
- наявність захисного покриття на поверхнях деталей (у випадках, обумовлених ВТД) і ширину зони його нанесення;
- правильність складання та кріплення деталей, розміри складеного вузла (останнє – у випадках, зазначених в ВТД);
- дату контролю, прізвище, ім'я, по батькові особи (осіб), що здійснили операційний контроль, та її (їх) підпис;
- висновок щодо підготовки деталей до складання під зварювання.

**Примітка.** За умови підгинання зазначаються температура металу при виконанні цієї технологічної операції і кут підгинання, а за умови наплавлення – її розміри, спосіб зварювання і застосовані зварні матеріали з зазначенням номера партії (наплавлення) і стандарту, ТУ або паспорта.

Висновок щодо якості підготовки деталей і складання з'єднання під зварювання підписується спеціалістом, що здійснив контроль, і керівником служби технічного контролю.

**БЛАНКИ АКТІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТА ДОПОМІЖНІ СКОРОЧЕННЯ**

(організація)

АКТ № \_\_\_\_\_ Від \_\_\_\_\_

Візуального та/чи вимірювального контролю якості зварних швів у процесі зварювання з'єднання

(назва виробу та номер з'єднання)

1. Цим актом засвідчується факт виконання зварником \_\_\_\_\_  
ПІБ, клеймо

з'єднання \_\_\_\_\_

(див. зварний формуляр), тип (типи) з'єднань виконаного \_\_\_\_\_

зазначити спосіб зварювання і положення

Відповідно до вимог технології зварювання \_\_\_\_\_  
зазначити шифр технологіїі недоступного для контролю \_\_\_\_\_  
зазначити спосіб контролю, приписаний

конструкторською документацією

2. При пошаровому візуальному та вимірювальному контролі з оцінкою якості за нормами \_\_\_\_\_ для  
(шифр або назва НТД)

категорії \_\_\_\_\_ встановлено, що зварне з'єднання визнано придатним і відповідає вимогам \_\_\_\_\_

(зазначити НД або конструкторську документацію)

Контроль здійснив \_\_\_\_\_  
прізвище, ініціали, підпис, рівень кваліфікації, номер кваліфікаційного посвідченняКерівник робіт з візуального та вимірювального контролю: \_\_\_\_\_  
прізвище, ініціали, підпис

Примітка. Акт складається на кожну зварну конструкцію (з'єднання або групу з'єднань), що підлягає контролю в процесі зварювання. Вимоги до оформлення протоколу розмірів \_\_\_\_\_ (виріб)

Протокол розмірів оформляється тільки в тому випадку, коли це зазначено в НД і ПКД на контрольований виріб. Протокол розмірів (таблиця) повинен містити фактичні розміри виробу, виконані в певних перерізах, які задаються "Схемою вимірювання \_\_\_\_\_"

Протокол підписується особами, які виконують вимірювання, і керівниками робіт з візуального та вимірювального контролю з зазначенням ПІБ.

АКТ № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

візуального та вимірювального контролю

1. Відповідно до наряду-замовлення (заявки) \_\_\_\_\_

номер

здійснений \_\_\_\_\_ контроль \_\_\_\_\_  
зазначити вид контролю (візуальний, вимірювальний)

назва і розміри контрольованого об'єкта контролю, шифр документації, ТУ, креслення,

плавка (партия), номер об'єкта контролю

Контроль здійснений згідно з \_\_\_\_\_  
назва та/чи шифр технічної документації

2. При контролі виявлені такі дефекти \_\_\_\_\_  
характеристика дефектів (форма, розміри,

розташування та/чи орієнтація для конкретних об'єктів)

3. Висновок за результатами візуального та вимірювального контролю

Контроль здійснив \_\_\_\_\_  
прізвище, ініціали, підпис, рівень кваліфікації, номер кваліфікаційного посвідчення

Керівник робіт з візуального та вимірювального контролю

прізвище, ініціали, підпис

Для скороченого запису дефектів при проведенні та оформленні результатів візуально-оптичного контролю можливе застосування умовних позначень, наведених у таблиці Д.3.1.

Таблиця Д.3.1

ДСТУ–Н Б А.3.1–11:2008. Умовний запис дефектів при оформленні результатів візуально-оптичного контролю

Назва дефекту	Умовне позначення дефекту		
	цифрове	латиною	кирилицею
<b>Група 1. Тріщини</b>			
Поздовжня тріщина	101	Еа	Тв
Поперечна тріщина	102	Еб	Тп
Радіальні тріщини	103	Е	Тр
Тріщина у кратері	104	Тс	Ткр
Роздільні тріщини	105	Е	Трзд
Розгалужені тріщини	106	Е	Трзг
<b>Група 2. Пори</b>			
Поверхнева пора	2017		П

Назва дефекту	Умовне позначення дефекту		
	цифрове	латиною	кирилицею
Поверхнева пора	2017		П
Скупчення пор	2013		СП
Ланцюжок пор	2014		ЛП
Свищ	2016	Ab	С
Кратер	2024	К	К
<b>Група 3. Тверді включення</b>			
Тверде включення	300		Вт.
Шлакове включення	301	Ba	Вш, Ш (шлак)
Флюсове включення	305	G	Вф
Оксидне включення	303	J	Во
Металеве включення	304	H	Вм
<b>Група 4. Несплавлення і непровар</b>			
Несплавлення	401		Неп
Непровар (неповний провар)	402	D	Н
<b>Група 5. Порушення форми шва</b>			
Підріз безперервний	5011	F	Пдрб
Підріз переривчастий	5012	F	Пдрп
Перевищення опуклості стикового, кутового шва	502, 503		Оз (зовніш-не)
Перевищення проплавлення	504		Ппр
Неправильний профіль зварного шва	505		Пф
Наплив	506		Нпл
Лінійне зміщення	507		Зл
Кутове зміщення	508		Зк
Пропалювання	510		Пр
Неповне заповнення розкриття крайок	511		Нз
Надмірна асиметрія кутового шва	512		А
Нерівномірна ширина шва	513		Ншш
Нерівномірна поверхня шва	514		Нпш
Увігнутість кореня шва	515		Ув
Відновлення	517		Вдн
Лускатість зварного шва			Лс
Западання між валиками шва			Зв
<b>Група 6. Інші дефекти</b>			
Випадкова дуга	601		Д
Бризки металу	602		Бр

Назва дефекту	Умовне позначення дефекту		
	цифрове	латиною	кирилицею
Поверхневі задири	603		З
Потоншення металу	606		Тм
<b>Примітка.</b> Цифрові позначення та позначення латиною наведено відповідно до ДСТУ 3491–96.			

Після умовного позначення дефектів вказуються їх розміри в міліметрах:

- для сферичних пор та свищів, шлакових і вольфрамових включень – діаметр;
- для несферичних пор та свищів, шлакових і вольфрамових включень – ширина і довжина (через знак множення);
- для підрізів – глибина і довжина (через знак множення);
- для ланцюжків, скупчень, оксидних включень, непроварів і тріщин – довжина.

Після розмірів дефектів вказується координата дефектів (у дужках) відносно початку відліку (умовного нуля) вздовж зварного шва:

- для пор, свищів, кратерів – координата центру дефекту;
- для решти дефектів – координата початку дефекту.

Для ланцюжків та скупчень пор, шлакових та вольфрамових включень після умовного позначення дефектів, що належать до ланцюжка або скупчення, вказуються максимальні діаметр або ширина та довжина цих дефектів (через знак множення).

За наявності на зварному шві, що контролюється, однакових дефектів (дефектів одного виду з однаковими розмірами), розташованих на однаковій відстані від умовного нуля, допускається не записувати кожен дефект окремо, а вказувати перед умовним позначенням їх кількість.

При виявленні дефектів, для яких відсутні умовні позначення, при оформленні результатів контролю треба вказати їх повну назву.

#### **Приклади умовного запису дефектів**

1. Тв35(15) – тріщина поздовжня завдовжки 35 мм, що починається на координаті 15 мм від умовного нуля.

2. П2(25) – пора діаметром 2 мм з центром на координаті 25 мм від умовного нуля.

3. П2,5х 1(30) – пора розмірами 1×2,5 мм з центром на координаті 30 мм від умовного нуля.

4. С20П1,5(45) – скупчення пор завдовжки 20 мм (вздовж шва) з максимальним діаметром пори 1,5 мм і початком на координаті 45 мм від умовного нуля; Пдр1,5х55(100) – підріз із максимальною глибиною 1,5 мм і довжиною 55 мм, що починається на координаті 100 мм від умовного нуля.



## **ЗМІСТ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТІ**

### **Карта контролю герметичності містить:**

- найменування організації-розробника;
- позначення (номер) ТКК;
- найменування ОК;
- ескіз ОК;
- позначення креслення ОК;
- вимоги до якості (клас або норма герметичності);
- матеріал ОК;
- робочий тиск;
- метод контролю, спосіб контролю;
- методична документація;
- перелік засобів контролю (у тому числі контрольна теча за необхідністю);
- вимоги безпеки;
- умови проведення контролю;
- порядок підготовки до контролю (у тому числі перевірка чутливості засобів і способу контролю за необхідності);
- порядок проведення контролю;
- норми оцінювання якості, бракувальні ознаки;
- прізвище, ініціали, підпис, відомості про сертифікат (атестаційне посвідчення) розробника ТКК;
- прізвище, ініціали, підпис особи, яка затвердила ТКК.

ТКК може доповнюватися іншими відомостями, передбаченими на підприємстві.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кривов, Г. О. Виробництво зварних конструкцій : підруч. для студ. вищих навч. закладів / Г. О. Кривов, К. О. Зворикін. – Київ : КВІЦ, 2012. – 896 с.
2. Квасницький, В. В. Спеціальні способи зварювання : навч. посіб. / В. В. Квасницький. – Миколаїв : УДМТУ, 2003. – 437 с.
3. Биковський, О. Г. Технологія та обладнання електричного контактного зварювання : навч. посіб. / О. Г. Биковський, Д. М. Лутов, І. В. Пінковський. – Київ : Техніка, 2001. – 239 с.
4. ДСТУ EN ISO 6520-1:2015. Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах. Частина 1. Зварювання плавленням (EN ISO 6520-1:2007, IDT; ISO 6520-1:2007, IDT) [чинний від 2016-01-01], ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2016. – 28 с.
5. ДСТУ EN13927:2005. Неруйнівний контроль. Контроль візуальний. Устаткування. (EN 13927:2003, IDT) [чинний від 2008-01-01], Державний науково-дослідний і конструкторсько-технологічний інститут компресорного машинобудування (ВНДІкомпресормаш), 2008. – 23 с.
6. ДСТУ ISO17637-2003 (ISO17637:2003, IDT). Контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням [чинний від 2017-10-01], ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2017. – 32 с.
7. ДСТУ EN ISO 17638:2018 Неруйнівний контроль зварних швів. Магнітопорошковий контроль [чинний від 2019-01-01], ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2019. – 24 с.
8. ДСТУ EN 1593:2015 (EN 1593:1999, IDT). Неруйнівний контроль. Контроль герметичності. Пухирковий метод [чинний від 2016-01-01], ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2016. – 25 с.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ДЕФЕКТИ ЗВАРЮВАННЯ.....	4
1.1. Дефекти зварювання плавленням.....	4
1.1.1. Тріщини зварного шва.....	5
1.1.2. Порожнини, пори зварного шва.....	5
1.1.3. Тверді включення зварного шва.....	6
1.1.4. Несплавлення та непровари зварного шва.....	7
1.1.5. Порушення форми шва.....	8
1.1.6. Інші дефекти.....	13
1.2. Дефекти контактного зварювання.....	13
1.3. Дефекти стикового зварювання.....	16
1.4. Норми дефектності і категорії відповідності зварних з'єднань.....	17
1.5. Виправлення дефектів зварних з'єднань.....	18
2. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ.....	22
Практична робота № 1. ВІЗУАЛЬНИЙ І ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	26
Практична робота № 2. ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФЕКТІВ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ МЕТОДОМ МАГНІТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЮ.....	42
3. КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	55
Практична робота № 3. КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ МЕТОДОМ ГАСОВОЇ ПРОБИ.....	62
Практична робота № 4. КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ ПНЕВМАТИЧНИМ ВИПРОБУВАННЯМ.....	66
Додаток 1. ПАРАМЕТРИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ.....	75
Додаток 2. ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ КАРТИ ОПЕРАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ...	82
Додаток 3. БЛАНКИ АКТІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТА ДОПОМІЖНІ СКОРОЧЕННЯ.....	83
Додаток 4. ЗМІСТ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТІ.....	87
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	88

Навчальне видання

**Горлов Олександр Кузьмич  
Келеберда Олександр Валентинович  
Миронова Світлана Юріївна  
Нікічанов Вячеслав Володимирович**

## **КОНТРОЛЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ**

Редактор Н. М. Сікульська

Зв. план, 2023

Підписано до видання 24.24.2023

Ум. друк. арк. 5. Обл.-вид. арк. 5,63. Електронний ресурс

---

Видавець і виготовлювач  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»  
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17  
<http://www.khai.edu>  
Видавничий центр «ХАІ»  
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17  
[izdat@khai.edu](mailto:izdat@khai.edu)

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів  
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001