

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний технічний університет**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни з дисципліни «Контроль якості покриттів» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» всіх форм навчання

2016

Конспект лекцій з дисципліни «Контроль якості покриттів» для студентів освітньої програми «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» всіх форм навчання /Укл.: М.І. Андрущенко, О.Є. Капустян – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. - 42 с.

Укладачі: М.І. Андрущенко, канд. техн. наук, доцент;  
О.Є. Капустян, старш. викл.

Рецензент: М.Ю. Осіпов, канд. техн. наук, доцент

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено  
на засіданні кафедри ОТЗВ  
Протокол № 8 від 1.06.2016

Затверджено  
на засіданні НМК ІФФ  
Протокол № 10 від 21.06.2016

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1 ФАКТОРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЯКІСТЬ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ .....	6
2 ОСНОВНІ ЕТАПИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ .....	7
3 ДЕФЕКТИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ .....	7
3.1 Класифікація дефектів .....	7
3.2 Основні різновиди дефектів, причини їх утворення і характер розташування .....	8
3.2.1 Тріщини .....	8
3.2.2 Пори .....	9
3.2.3 Шлакові включення .....	9
3.2.4 Пропалини .....	9
3.2.5 Підрізи .....	10
3.2.6 Непровар .....	10
3.2.7 Несплавлення .....	10
3.2.8 Натік .....	10
3.2.9 Кратери .....	11
3.2.10 Дефекти структури .....	11
3.2.11 Деформація .....	11
4 ОЦІНКА РІВНЯ ДЕФЕКТНОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ	11
5 ВПЛИВ ДЕФЕКТІВ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ .....	12
6 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ	13
7 НЕРУЙНУЮЧІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ .....	14
7.1 Візуальний контроль .....	14
7.2 Капілярний контроль .....	15
7.3 Контроль герметичності (течощукання) .....	17
7.4 Магнітні методи контролю .....	20
7.5 Електроіндуктивний метод контролю .....	24
7.6 Ультразвуковий контроль .....	25
7.6.1 Суть ультразвукового метода контролю .....	25
7.6.2 Способи ультразвукового контролю .....	27
7.6.3 Технологія УЗК .....	30

7.7 Неруйнуючі методи контролю напруженого стану .....	32
7.8 Радіаційний контроль.....	33
7.8.1 Суть і різновиди способів радіаційного контролю ...	33
7.8.2. Проведення радіографії зварних з'єднань.....	35
7.8.3 Радіоскопія зварних з'єднань.....	39
7.8.4 Радіометрія зварних з'єднань .....	40
8 РУЙНУЮЧІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ .....	41
ВИСНОВОК .....	42

## ВСТУП

В процесі виготовлення і експлуатації зварних конструкцій можливі відхилення їх якості від встановлених вимог, що може призвести до зниження їх надійності.

Тому існує необхідність систематичної перевірки відповідності конструкцій передбаченим вимогам. Такій перевірці повинні підлягати всі стадії процесу створення зварного виробу (від створення технічної документації до здачі готового виробу в експлуатацію).

У світовій практиці виробництва відповідальних зварних конструкцій (морські судна, енергетичне обладнання) вартість операцій контролю складає 20÷25 % загальної вартості споруди, а трудомісткість контролю співставима з трудомісткістю зварювання, де рівень механізації і автоматизації дуже високий і більшість операцій контролю здійснюється вручну.

Тому вдосконалення традиційних і розробка нових автоматизованих методів і засобів контролю якості з використанням сучасних досягнень науки і техніки є дуже актуальним. Вивчення існуючих методів контролю сприятиме їх широкому і обґрунтованому використанню, що дасть можливість істотно поліпшити якість зварних конструкцій.

## 1 ФАКТОРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЯКІСТЬ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ

Якість зварювальних робіт в значній мірі залежить від того, наскільки раціонально спроектована зварна конструкція. Вважається, що зварна конструкція спроектована раціонально, якщо вона відповідає вимогам надійності, технологічності, транспортабельності, естетичності і економічності і при цьому має мінімальну кількість деталей, мінімальний об'єм зварювальних робіт в напружених вузлах, оптимальну вагу.

На якість зварювальних робіт також впливає ступінь відповідності встановленим вимогам:

- основних матеріалів (металу, заготовок);
- допоміжних матеріалів (електродів, газів, флюсів);
- кваліфікації заготівельників, збиральників, зварювальників тощо;
- підготовка елементів конструкцій до збирання і зварювання;
- якість збиральних пристроїв і технічний стан зварювального обладнання;
- технологія збирання, зварювання і ретельність її дотримання в процесі виробництва;
- застосовані методи і методики контролю;
- кваліфікація дефектоскопістів;
- культура і організація виробництва.

При проектуванні конструкції необхідно враховувати ймовірну появу і розташування дефектів, характерних для даних типів матеріалів і способів зварювання.

Намагання досягнути абсолютної “бездефектності” конструкції, як правило, погіршують її експлуатаційні властивості, бо через багаторазові виправлення дефектів виникає ріст зерна, збільшення внутрішніх напружень, зниження міцностних властивостей тощо, що знижує працездатність конструкції.

Тому, для того щоб конструкція була раціонально спроектована, враховувала ймовірність появи дефектів, в її проектуванні повинен брати участь спеціаліст з контролю якості.

## **2 ОСНОВНІ ЕТАПИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ**

Перевірка якості зварювальних робіт проводиться в 3 етапи: попередня перевірка, поточна і заключна.

На попередній стадії контролю знайомляться з технічною документацією на виріб (кресленнями, ТУ, нормальми), перевіряють якість вихідних матеріалів, заготовок, стан заготівельного, збирального, зварювального обладнання, кваліфікацію заготівельників, збиральників, зварювальників, дефектоскопістів, інженерно-технічних працівників.

Завданням поточного контролю є підтримання стану збирально-зварювального обладнання на рівні вимог, які забезпечують якісне виготовлення конструкції. Від ретельності проведення поточного контролю залежить своєчасне запобігання і виявлення дефектів збирання і зварювання.

Контроль в процесі виготовлення конструкції здійснює робітник, бригадир, майстер, працівник ВТК (дефектоскопіст).

В процесі поточного контролю проводяться технологічні, механічні і металографічні випробування контрольних зразків, вирізаних з контрольних пластин, або вивідних планок.

На заключній стадії контролю встановлюють наявність і характер дефектів, усувають недопустимі дефекти, визначають ступінь відповідності зварного виробу встановленим вимогам.

Результати заключного контролю дозволяють прийняти необхідні міри для підвищення якості робіт і раціональності виробів в цілому.

## **3 ДЕФЕКТИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ**

### **3.1 Класифікація дефектів**

Дефекти, що виникають у зварних конструкціях, можна класифікувати за такими ознаками, в залежності від:

– величини: малі (менше 5 %  $\delta$ ), середні (5-15 %  $\delta$ ), великі

(більше 15 %  $\delta$ ), де  $\delta$  - товщина металу;

- від частоти (масовості) розташування – одиничні, групові і розповсюджені;
- форми: плоскі або гострі і об'ємні або закруглені;
- розташування: зовнішні, внутрішні, наскрізні;
- виду і розміру дефектів і їх впливу на працездатність конструкції – допустимі і недопустимі (зазначається в ТУ).

### **3.2 Основні різновиди дефектів, причини їх утворення і характер розташування**

#### **3.2.1 Тріщини**

Тріщини – це щілиноподібні порушення суцільності в металі, що виникають під дією усадних напружень. Вони створюють різку концентрацію напружень і можуть викликати катастрофічне руйнування зварної конструкції, а тому є недопустимими.

Вони поділяються:

- за розмірами: макро- і мікроскопічні;
- за розташуванням: поздовжні, поперечні, розташовані в шві, ЗТВ, основному металі;
- за походженням: гарячі, холодні, від втоми.

Гарячі тріщини утворюються в період кристалізації ( $100\div 950^0$ ) і розташовуються в середині шва по його осі, або перпендикулярно фронту кристалізації і можуть виходити на поверхню шва.

Виникають вони і в колошовній зоні, особливо при наявності шкідливих домішок, незадовільній формі проплавлення і значній погонній енергії.

Холодні тріщини виникають при температурах  $< 300^0$  С і мають транскристалічний характер. Вони виходять на поверхню, розташовані поперек або вздовж шва ( $\perp$  max градієнту напружень). Можуть розташовуватись і в навколошовній зоні.

На відміну від гарячих, вони мають меншу ширину розкриття і тому важче виявляються при зовнішньому огляді.

Виникненню холодних тріщин можуть сприяти інші внутрішні дефекти (шлакові включення, пори, гарячі тріщини, непровари), а також деякі види випробувань (гідравлічні, вібраційні

тощо).

### **3.2.2 Пори**

Пори – порожнини об'ємного характеру, заповнені газовою фазою. Форма пор кулеподібна, конічна або пляшкоподібна і має вигляд червоточини. Пори в швах розташовуються ланцюжком або групами по осі шва де метал затвердіває в останню чергу. При багат шаровому зварюванні пори з одного шару переходять в інший, пронизуючий усю товщину шва. Пояснюється це тим, що утворення нових пор відбувається легше там, де вони вже є. Найбільш радикальний метод боротьби з порами – усунення причин, що їх викликають і дотримання технологічної дисципліни.

### **3.2.3 Шлакові включення**

Шлакові включення виникають через погане очищення кромки від окалини, бруду, а також прихваток і попередніх валиків від шлаку. Сильне насичення металевої ванни  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $Si$  також сприяє утворенню шлакових включень (мікроскопічних). Шлакові включення розташовуються переважно на межі сплавлення основного і наплавленого металу, а також в середині швів. Маючи більш неправильну форму з гострими краями, шлакові включення в більшій мірі знижують механічні властивості швів.

### **3.2.4 Пропалини**

Пропалини утворюються в результаті витікання розплавленого металу при наскрізному проплавленні і нещільному приляганню флюсової подушки чи підкладки.

### 3.2.5 Підрізи

Підрізи – це заглиблення вздовж країв шва, які виникають при зварюванні в “незручному” стані, зміщенні електрода від осі “шва”, а також використання завищеної сили струму, напруги і вильоту електроду.

### 3.2.6 Непровар

Непровар – неповне проплавлення основного металу на всю (розрахункову) товщину, або відсутність сплавлення присадного металу з основним. Непровар буває в корені шва і вздовж кромки. При багатшаровому зварюванні непровар виникає також між окремими валиками. В зламі місце непровару покрите окислами і неметалевими включеннями. Це небезпечний дефект.

### 3.2.7 Несплавлення

Несплавлення – відсутність сплавлення між основним металом і металом шва по більшій частині периметру. Виникає при зварюванні на значній швидкості з великою силою струму. Шви відзначаються високим підсиленням і глибокими підрізами, заповненими шлаком.

Для запобігання утворення несплавлень процес зварювання ведуть кутком вперед, на спуск, або послідовно розташованими електродами.

### 3.2.8 Натік

Натік (наплив) утворюється при натіканні розплавленого металу на поверхню основного під дією сили тяжіння і відсутності сплавлення між ними. Утворюється при надмірній подачі електрода,

завищеній напрузі і силі струму, зміщенні електрода від осі шва, зварюванні на вертикальній площині тощо.

Напливи можуть приховувати непровари вздовж кромки і тому їх треба усувати, а метал шва в цьому місці ретельно контролювати.

### **3.2.9 Кратери**

Кратери – це заглиблення в металі шва (як правило, в кінці), які утворюються при застиганні незаповненої присадним металом зварювальної ванни. Створюють концентрацію напружень. В місці найбільшої ширини й глибини кратера утворюються тріщини.

### **3.2.10 Дефекти структури**

Дефекти структури – це крупнозернистість, утворення оксидних, фосфідних і інших евтектик, гартувальних структур і т.п.

Знижують експлуатаційні властивості зварних з'єднань.

### **3.2.11 Деформація**

Деформація зварних конструкцій – це відхилення розмірів конструкцій від проектних (під дією напружень).

## **4 ОЦІНКА РІВНЯ ДЕФЕКТНОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ**

Для оцінки розмірів дефектів використовують критерій, який називають “коефіцієнтом ураженості зварного шва дефектами”, який являє собою відношення сумарної площі дефектів в перетині шва, що розглядається до площі перетину шва:

$$\delta = \frac{\Sigma S_{\delta}}{S},$$

де  $\Sigma S_{\delta}$  – сумарна площа дефектів;  
 $S$  – площа шва.

Ступінь дефектності зварних з'єднань  $K_{\delta}$  визначають, як відношення сумарної довжини дефектів до довжини шва:

$$K_{\delta} = \frac{\Sigma l_{\delta}}{l_M}$$

Поруч з оцінкою кількості дефектів доцільно проводити кількісний аналіз видів дефектів і причин їх виникнення, що дає можливість статистичної оцінки впливу окремих факторів на причини виникнення дефектів і керувати якістю продукції.

## **5 ВПЛИВ ДЕФЕКТІВ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ**

Ступінь впливу дефектів на працездатність зварних з'єднань і конструкцій залежить від:

- властивостей матеріалів;
- виду зварних з'єднань і способу зварювання;
- кількості, розміру і розташування дефектів у з'єднаннях;
- умов експлуатації, характеру діючих навантажень і інших умов.

Встановлено, що при статичних навантаженнях і пластичних матеріалах втрата міцності пропорційна загальній площі дефектів  $\Sigma S_{\delta}$ .

Якщо сумарна відносна площа дефектів  $< 10$  %, то вони майже не впливають на статичну міцність з'єднання. При динамічних навантаженнях навіть невелика кількість дефектів ( $1 \div 2$  %) знижує міцність у 2 рази і більше.

Якщо матеріал малопластичний (або працює в умовах температурного інтервалу крихкості), то вплив дефектів істотно

посилується.

Наявність зовнішніх дефектів форми шва (зміщення кромок, різкий перехід від підсилення до основного металу) додатково знижує динамічну міцність з'єднання, в той же час, роблячи вплив внутрішніх дефектів менш істотним.

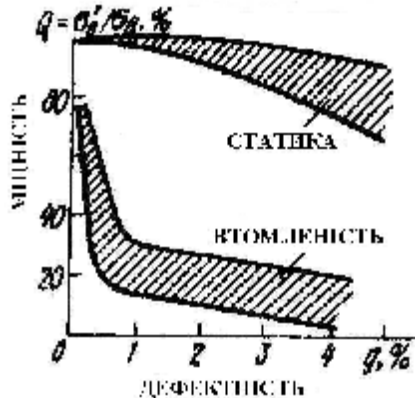


Рисунок 5.1 — Вплив дефектів на працездатність конструкції при статичних і динамічних навантаженнях

## 6 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Всі існуючі методи контролю якості зварних з'єднань умовно розподілено на 2 групи: руйнуючі і неруйнуючі методи контролю.

До руйнуючих методів відносяться ті, що дозволяють оцінити якість зварного з'єднання після його руйнування. Руйнуючі випробування проводять на зразках – свідках, моделях або натурних виробках.

Зразки-свідки виготовляють з тих же матеріалів і з застосуванням тих самих режимів, що й сам виріб.

Руйнуючі випробування дають можливість отримати чисельні дані, які безпосередньо характеризують міцність, надійність і працездатність з'єднань.

При неруйнуючих методах контролю визначають наявність,

розміри і кількість дефектів в зварних з'єднаннях виробу і на підставі існуючих статистичних даних опосередковано визначають їх вплив на працездатність конструкції.

В залежності від виду фізичних явищ і речовин, які використовують при виявленні дефектів, всі неруйнуючі методи контролю можна розділити на такі види: акустичний (ультразвуковий), магнітний, вихорострумковий (індукційний), радіаційний, проникаючими речовинами (течосування), електричний, капілярний. До неруйнуючих методів контролю відносять також зовнішній огляд виробів (візуальний контроль).

Розглянемо суть і техніку проведення цих методів.

## **7 НЕРУЙНУЮЧІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ**

### **7.1 Візуальний контроль**

Візуальний контроль (технічний, зовнішній огляд) є найбільш розповсюдженим методом контролю на всіх стадіях виконання робіт. Його застосування є обов'язковим перед будь-яким методом контролю якості.

Візуальний контроль застосовують у трьох різновидах:

- зовнішній огляд з'єднань і їх виміри;
- дистанційний контроль за допомогою оптичних приладів (ендоскопів);
- активний дистанційний візуальний контроль в процесі зварювання з оперативним зворотнім зв'язком з метою регулювання режимів.

Зовнішнім оглядом виявляють дефекти підготовки з'єднань до зварювання, правильність збирання елементів конструкції, а також більшість поверхневих дефектів зварних швів, їх розміри.

Для цього користуються різноманітними шаблонами або вимірювальним інструментом.

З метою більш надійного виявлення дефектів при зовнішньому огляді користуються телескопічними й оглядовими лупами з кратністю збільшення  $\times 2 \div 10$  разів.

Для дистанційного зовнішнього огляду використовують технічні і медичні ендоскопи.

Активний дистанційний контроль здійснюється в процесі зварювання за допомогою спеціальних оптичних систем, які за допомогою ЕОМ оперативно обробляють інформацію про розміри зони плавлення і видають необхідні команди на системи управління процесом зварювання з метою корегування режимів зварювання.

Такі системи дозволяють також вимірювати геометрію швів, фотографувати їх дефектні ділянки, робити позначки в місцях розташування дефектів.

## 7.2 Капілярний контроль

Застосовують для виявлення поверхневих і наскрізних дефектів за допомогою індикаторних проникаючих рідин (пенетрантів).

Процес капілярного контролю включає 3 етапи:

- заповнення нещільностей світлоконтрастним або кольороконтрастним пенетрантом за рахунок капілярних сил;
- проявлення дефектів шляхом витягування пенетранту на поверхню за допомогою сорбентів;
- індикація нещільностей в місцях виходу пенетранту на поверхню по кольорових плямах або свіченню в ультрафіолетових променях.

В залежності від способу індикації відрізняють люмінесцентний, кольоровий і люмінесцентно-кольоровий (змішаний) метод контролю.

Пенетрантом переважно є гас з домішками фарбників або люмінофорів. Пенетранти на основі гасу добре проникають в будь-які нещільності (навіть якщо вони заповнені брудом або мастилом), не викликають корозії металу, не замерзають і не є вибухонебезпечними.

При люмінесцентному методі контролю до гасу додають будь-який люмінофор, переважно – трансформаторну олію (до 15 %), яка світиться під дією ультрафіолетових променів.

Для кольорового методу контролю використовують пенетрант, що складається з 80 % гасу, 15 % трансформаторної олії і 5 % скипідару, до яких додають 10 г/л фарби Судан III або IV.

Перед початком капілярного контролю усувають всі видимі поверхневі дефекти, виявлені при зовнішньому огляді і очищують

поверхню контрольованого виробу від бруду, окалини, іржи і шлаку. Неорганічні забруднення усувають миючими речовинами, розчиненими у воді, органічні – розчинниками, бензином, ацетоном.

Очищену поверхню сушать при  $t = 100 \div 120^{\circ} \text{C}$ .

Пенетрант наносять на поверхню виробу розпилювачем, пензликом або занурюванням і дають витримку  $5 \div 20$  хв для надійного проникнення його в будь-які нещільності.

Для прискорення проникнення пенетранту і підвищення чутливості контролю застосовують надлишковий тиск, ультразвук, вібрацію або їх комбінацію.

Очистку здійснюють за допомогою емульгаторів (5 % розчин кальцинованої соди) або розчинників.

Після висихання поверхні на контрольовану ділянку наносять адсорбент (порошок тальку, окиси  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , вуглекислий магній).

Надлишки порошку через деякий час здмухують, а поверхню виробу опромінують ультрафіолетовими променями ртутно-кварцевої лампи. При цьому місця дефектів люмінісцюють жовто-зеленим світлом.

При кольоровій дефектоскопії для проявлення дефектів переважно використовують адсорбент у виді каолінової суспензії (300÷500 г/л каоліну) на водній чи спиртовій основі з добавками емульгаторів (концентрат ОП-7) для кращого змочування, що підвищує чутливість методу. Для кращого і довшого зберігання адсорбенту зі слідами дефектів на поверхні виробу, а також більш швидкого висихання шару емульсії, її інколи виготовляють на основі різних смол у виді пігментованих лаків.

Після висихання емульсії фарба пенетранту зафарбовує місця дефектів в яскраво-червоний колір. Дефекти добре видимі при огляді неозброєним оком або через лупу.

Люмінесцентно-кольоровий метод являє собою поєднання обох методів. При цьому використовують комплекти спеціальних матеріалів – слабо концентрований розчин червоного флуоробарвника в суміші зі спиртом і поверхнево-активною речовиною, а проявником є білий пігментований лак.

### 7.3 Контроль герметичності (течощукання)

Герметичність зварних з'єднань перевіряють пробними газами (повітря, аміак, гелій, аргон, вуглекислий газ, фреон тощо) або рідинами (вода, гас, кольорові і люмінесцентні рідини, технологічні продукти).

Індикація пробних газів і рідин, що пройшли через дефекти, здійснюються за допомогою спеціальних речовин або приладів-течощукачів.

Гідравлічні випробування здійснюються шляхом поливання зварного з'єднання водою, наливом (наповненням) виробу рідиною, або створенням надлишкового гідравлічного тиску до  $1,5 P_p$ .

Наливом випробовують відкриті баки і посуду (витримка до 24 годин). Надлишковим тиском випробовують закриті ємності і трубопроводи.

При люмогідравлічних випробуваннях використовують розчини на основі гасу або води з додаванням люмінофорів (домішки ТМС-6, ГС-6). Зворотну сторону швів оглядають при УФ-освітленні. Для збільшення розмірів висвічених плям контрольовану поверхню посипають тальком або іншим адсорбентом.

При випробуванні герметичності гасом контрольовану зону очищують від бруду і шлаку, простукують. Поверхню швів і прилеглих ділянок покривають крейдяною суспензією (450 г крейди на 1 л води).

Після висихання суспензії зворотну сторону шва змащують гасом (можна з фарбою "Судан"). Через 5÷10 хв на крейдяному фоні з'являться плями. Для прискорення проникання гасу можна використовувати вібрацію, вакуум, надлишковий тиск.

При пневматичному методі дефекти виявляють завдяки пухирцям газу в піноутворюючому розчині чи воді, які з'являться в місцях проходження газу через дефекти.

Для цього в контрольованому виробі створюють пневматичний тиск (чи обдувають зворотну сторону швів повітрям), а лицьову сторону швів змочують піноутворюючим мильним розчином. При цьому слідкують за можливим утворенням пухирців над дефектами. Виявляються дефекти  $\varnothing > 0,05$  мм, але великі дефекти можна прогледіти.

Малі вироби занурюють у воду. В цьому випадку чутливість



При вакуумному методі реєструється швидкість “натікання” вакууму в контрольованому виробі без подачі і у випадку подачі на зовнішню поверхню виробу пробної речовини (окрім повітря).

Хімічний метод базується на зафарбовуванні індикаторів пенетрантом в місцях його проходження через дефекти. Для цього у виробі створюють надлишковий тиск повітря з домішками  $\text{CO}_2$  або  $\text{NH}_3$ . Індикатором служать 5 % розчин  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  або фенолфталеїн, в яких змочують салфетки або стрічки і прикладають до контрольованих швів.

Місця над дефектами забарвлюються в чорний або фіолетовий колір.

Радіаційний метод базується на індикації малих кількостей радіоактивних рідин і газів, що проходять через дефекти по випромінюваному ними іонізуючому випромінюванню. Пробними газами можуть бути  $\text{CO}_2$  з домішками з'єднань на базі радіоактивного  $\text{C}14$ , аерозоль  $\text{Cs}137$ ,  $\text{K}r85$  в суміші з аргоном. Використовують також розчини  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  з ізотопом  $\text{Na}24$ , йоду з ізотопом  $\text{J}131$  і ін. Реєстрацію випромінювання ведуть за допомогою лічильників.

Метод точний, але вимагає великого проміжку часу для реєстрації концентрацій.

При галогенному методі течешування виріб заповнюють хлорвміщуючим газом (чистим або в суміші з повітрям). Це фреон (хлорон) або  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{CF}_4$ .

Вихід суміші через нещільності фіксується течешукачем. Його дія базується на явищі різкого підвищення емісії позитивних іонів з платинового аноду, нагрітого до  $800 - 900^\circ \text{C}$ , в присутності галогенів. Ефект спостерігається і при атмосферному тиску, і в вакуумі. Після закінчення контролю пробну речовину відкачують в резервуар. Потрібна потужна вентиляція.

При катарометричному методі пробним газом є переважно  $\text{He}$ , рідше  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ . Індикатором є пристрій з двома платиновими нитками, які включені в два плеча мостової схеми. Міст балансує, пропускаючи вздовж обох ниток повітря. Трубки з дротами рознесені і в процесі випробування одну з них пересувають уздовж шва і до неї може попадати пробний газ, а в другу тільки повітря. Завдяки різній теплопровідності пробного газу і повітря змінюються умови їх охолодження та опір. З'являється напруга розбалансування, яка фіксується приладом.

В маспектрометричних шукачах пробним газом є гелій. Після проходження через дефекти виробу гелій попадає в маспектрометричну камеру індикаторного приладу, яка знаходиться в магнітному полі. В камері є іонізатор, який іонізує гази в камері і ці йони під дією магнітного поля рухаються по кругових траєкторіях. Детектор в маспектрометричній камері розташований в тій зоні траєкторій, по якій рухаються йони He і при їх наявності реагує на них.

Вибір конкретного методу випробування залежить від класу герметичності конструкції, встановленого проектними нормативами, розмірів виробів, наявності контрольного обладнання, можливості і зручності проведення випробувань.

#### 7.4 Магнітні методи контролю

Магнітні методи контролю базуються на реєстрації зміни взаємодії магнітного поля з контрольованим об'єктом. В процесі контролю виріб намагнічується. В районі нещільностей виникають магнітні поля розсіювання, які несуть інформацію про дефекти.



Рисунок 7.2 — Розподіл магнітних потоків в контрольованому виробі при наявності дефектів

Реєстрація полів розсіювання може здійснюватись різними способами.

В залежності від способу реєстрації вирізняють наступні методи магнітного контролю:

- магнітопорошковий – реєстрація потоків розсіювання здійснюється магнітним порошком;
- магнітографічний – реєстрація здійснюється за допомогою

магнітної стрічки;

– ферозондовий – поля розсіювання ресструються за допомогою датчиків ферозондів.

Для виявлення дефектів магнітне поле повинно створювати в контрольованому виробі магнітну індукцію 0,8-1,0 Тл ( $\text{Вб/м}^2$ ). Величина магнітного потоку розсіювання залежить від форми, орієнтації і глибини залягання дефекту. Надійно виявляються плоскі дефекти, які розташовані перпендикулярно до напрямку магнітного поля. Дефекти круглої форми створюють малі потоки розсіювання і виявляються погано.

Магнітопорошковий метод контролю базується на здатності феромагнітних частинок, що знаходяться в магнітному полі, орієнтуватися в напрямку поля і переміщуватися до місця найбільшої густини магнітного поля.

Феромагнітні порошки застосовуються переважно у виді суспензій з гасом, олією або мильним розчином. Це поліпшує рухливість їх часток і забезпечує більшу чутливість контролю. За магнітний порошок, як правило, беруть подрібнену залізну окалину ковальського або прокатного виробництва ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) грануляцією 5 – 10 мкм. Можна використовувати чистий магнетит або “шліфувальну” стружку.

Склад суспензії:

а) 50 % гасу + 50 % трансформаторної олії + 50 – 60 г/л магнітного порошку;

б) 5 г мила, 1 г силікату натрію, 50 – 100 г магнітного порошку на 1 л води.

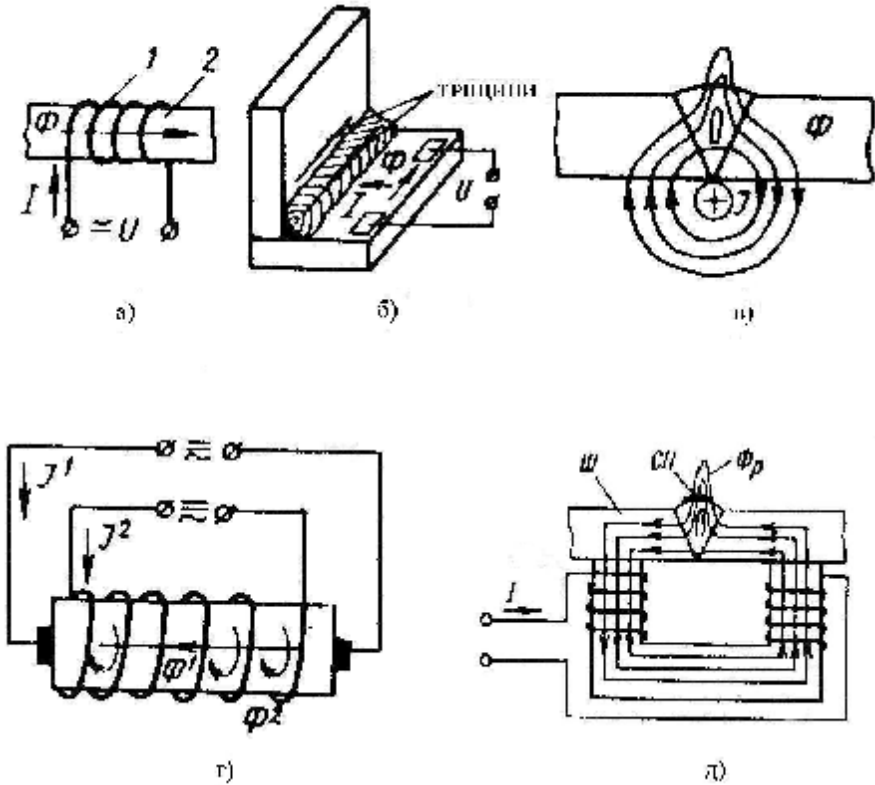
Можна використовувати зафарбовані або люмінесцючі порошки.

Контрольовану деталь намагнічують постійним або змінним струмом. Постійний струм дозволяє краще виявити глибинні дефекти, змінний – поверхневі.

Вибір способу і напрямку намагнічування залежить від розташування очікуваних дефектів.

Напрямок магнітного потоку має бути перпендикулярним до поверхні плоских дефектів. Якщо напрямок невідомий, то намагнічують в двох перпендикулярних напрямках. Магнітопорошковий контроль проводять в прикладеному полі (магнітом, які матеріали з  $H_c < 16 \text{ А/с}$ ). Напруженість магнітного поля

на поверхні деталі після намагнічування повинна становити 60 – 150 А/см.



а — осьовий; б — циркуляційний пропусканням струму через виріб; в — циркуляційний пропусканням струму через провідник; г — комбінований; д — полюсний

Рисунок 7.3 — Способи намагнічування виробів при магнітопорошковому контролі

Після намагнічування виробів на їх поверхню наносять суспензію і проводять огляд контрольованої ділянки (або фотографують). На місці дефекту утворюється рельєф. Для визначення розмірів дефектів користуються еталонними зразками з штучними дефектами.

Після завершення контролю вироби з магнітотвердих матеріалів розмагнічують змінним магнітним полем з поступовим зменшенням

амплітуди напруженості.

Цей спосіб контролю відзначається високою чутливістю і широко застосовується, не зважаючи на низькі санітарно – гігієнічні умови праці.

При магнітографічному методі виявлення дефектів здійснюється шляхом запису полів розсіювання на магнітну стрічку і зчитування їх зі стрічки за допомогою магнітних головок дефектоскопів, які видають інформацію про наявність дефектів на екран ЕПТ.

Контролювати цим методом можна з'єднання з гладкою поверхнею, до якої щільно притискують стрічку. Як правило – це стикові шви на плоских листах і трубах  $\delta = 1\div 20$  мм, виконані автоматичним зварюванням. На швах ручного зварювання бажано зняти підсилення шва, що значно підвищує чутливість контролю.

Перед контролем поверхня деталей повинна бути очищена від шлаку, бруду, а всі видимі поверхневі дефекти – усунені.

Для дефектоскопії використовують магнітні стрічки МК – 1 на целюлозній (триацетатній) або лавсановій основі (МК - 2).

Намагнічування здійснюють пересувним електромагнітом, який переміщують уздовж контрольованого шва з укладеною на нього стрічкою.

Для труб малого діаметру використовують нерухомі намагнічуючі пристрої.

Намагнічена стрічка намотується на касету і розшифровується за допомогою дефектоскопа.

Індикація сигналів на екрані дефектоскопу може бути:

- імпульсною: на екрані виникає імпульс, амплітуда якого характеризує величину дефекту;
- відеоіндикація: на екрані натуральне зображення дефектів;
- комбінованою, яка включає обидва види індикації.

Магнітографічні дефектоскопи налаштовують по еталонних зразках, виготовлених для кожної товщини і марки матеріалу з використанням аналогічних способів зварювання, як і контрольований матеріал. На контрольних зразках роблять непровар (10 %  $\delta$ ). Якщо дефектоскоп його виявляє, то виявляє й інші дефекти.

При магніто-ферозондовому контролі для виявлення полів розсіювання над дефектами використовують магнітотуляційні датчики - ферозонди. Вони виготовлені у виді стержнів з

магнітом якого матеріалу, на яких намотані генераторна і вимірювальна котушки. Для контролю зварних швів використовують ферозонди невеликих розмірів (2-10 мм) градієнтнометричного типу (генераторні котушки включені послідовно таким чином, що напрямки їх магнітних потоків співпадають).

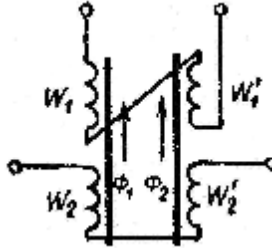


Рисунок 7.4 — Схема магнітоферозондового шукача

Ферозонди живляться струмом частотою 10-350 кГц. Чим вища частота, тим вища чутливість датчику.

При роботі на частотах 100 кГц і вище ферозондові шукачі виявляють дефекти глибиною 0,01 мм і довжиною 2 мм на глибині 5-8 мм. Більші за розміром дефекти відшуковують на більшій глибині. Швидкість контролю до 1 м/с.

### 7.5 Електроіндуктивний метод контролю

Цей метод використовують при контролі неферомагнітних матеріалів. Його принцип полягає в реєстрації взаємодії наведеного в датчику змінного електромагнітного поля і поля вихорівих струмів, які виникають в контрольованому об'єкті.

Дія поля вихорівих струмів на вимірювальну котушку спричиняє зміну індуктивного і активного опору датчика, що призводить до зміни вихідної напруги на кінцях котушки.

Датчики можуть мати дві котушки – генераторну і вимірювальну, або одну котушку з двома обмотками.

Форма і розміри котушок залежать від форми і розмірів виробів.

При контролі труб котушки, як правило, пропускають скрізь труби, стержні – через центральні отвори котушок.

При контролі плоских виробів котушки пересувають над їх

поверхню.

Електроіндуктивний метод застосовують для контролю з'єднань з ферромагнітних матеріалів товщиною до 3 мм (Ti, Al, Cu) з гладким підсиленням.

Коли котушки проходять над дефектом, змінюється величина вихорових струмів і утворюване ними електромагнітне поле. В результаті цього на кінцях вимірювальної котушки різко змінюється ЕРС і появляється сигнальний імпульс. Якщо дефект довгий, то наступний сигнальний імпульс виникає в кінці дефекту.

Залежність індукції поля дефектів від їх розмірів і форми визначають на еталонних зразках.

Метод вихорових струмів використовують також для вимірювання товщини стінок виробів і покриттів, для виявлення міжкристалітної корозії.

## **7.6 Ультразвуковий контроль**

### **7.6.1 Суть ультразвукового метода контролю**

При даному методі контролю для виявлення дефектів використовують ультразвукові хвилі, що являють собою пружні коливання матеріального середовища з надзвуковою частотою (320 кГц). Для дефектоскопії використовують коливання з частотою 0,5 – 2,5 МГц.

Ці акустичні хвилі розповсюджуються від випромінювача в контрольованому матеріалі. Якщо на їх шляху зустрічається дефект, то частина енергії поля від його поверхні відбивається, а за дефектом утворюється звукова “тінь”. Реєструючи за допомогою приймача наявність такої “тіні”, або відбиття акустичної хвилі, судять про наявність дефекту.

Існує декілька типів ультразвукових хвиль: поздовжні, поперечні, поверхневі (хвиля Релея), пластиночні ( хвилі Лембла ).

При дефектоскопії зварних швів переважно використовують поперечні (частки коливаються перпендикулярно до напрямку розповсюдження хвилі) і поздовжні (частки середовища коливаються вздовж напрямку розповсюдження хвилі).

Поздовжні хвилі можуть створюватись в будь-яких

середовищах, поперечні – тільки в твердих тілах.

Швидкість розповсюдження хвилі є величина постійна і залежить від властивостей матеріалу.

Для поздовжніх хвиль швидкість розповсюдження:

$$C_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

де  $E$  – модуль пружності нормальної деформації;

$\rho$  – густина.

Для поперечних хвиль:

$$C_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

де  $G$  – модуль пружності деформації зсуву.

Для більшості металевих матеріалів з  $\mu = 0.3$ ,  $G = 0.55 C_t$  і знаходиться в межах 2200 – 3300 м/с.

Для збудження і реєстрації УЗК використовують п'єзоелектричні перетворювачі з титаната барія або цирконата свинцю, які вмонтовані в шукачі.

Ультразвук вводять або перпендикулярно до поверхні виробу (прямим шукачем), або під кутом – призматичним похилим шукачем.

В кожному шукачі п'єзопластина випромінює поздовжню хвилю. За допомогою прямих шукачів в деталь вводять поздовжню хвилю. При використанні похилих шукачів поздовжня хвиля, яку вводять під кутом до поверхні деталі, розщеплюється на дві – поздовжню і поперечну. При цьому частково кожна з хвиль відбивається від поверхні виробу, а частина енергії хвиль розповсюджується в деталі.

При певних кутах нахилу призми шукача ( $\beta > 30^\circ$ ) в матеріалі розповсюджується тільки поперечна хвиля, поздовжня або відбивається, або розповсюджується вздовж поверхні.

Для дефектоскопії використовують похилі шукачі з  $\beta = 30, 40, 50, 55^\circ$ , які розповсюджують в деталі поперечні хвилі з кутом нахилу акустичної осі  $\alpha = 40, 51, 62, 67^\circ$  (для сталі).

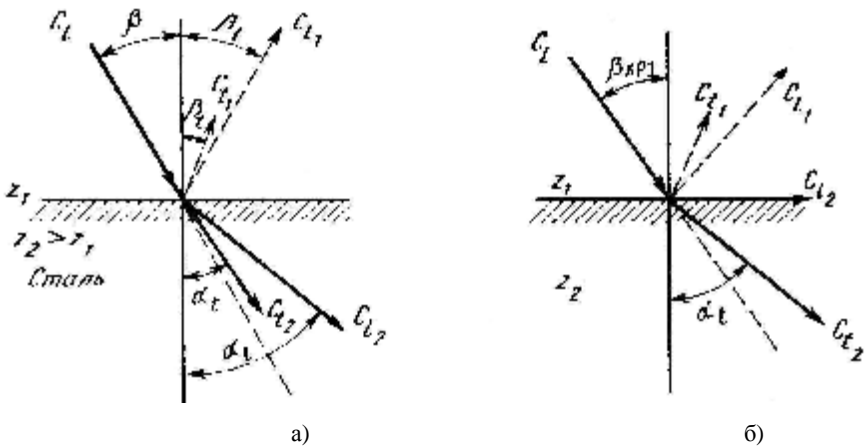


Рисунок 7.5 — Розповсюдження повздовжніх ( $c_l$ ) і поперечних ( $c_t$ ) хвиль у контрольованому виробі від похилого шукача

### 7.6.2 Способи ультразвукового контролю

При дефектоскопії зварних з'єднань можна використовувати наступні 5 способів виявлення дефектів:

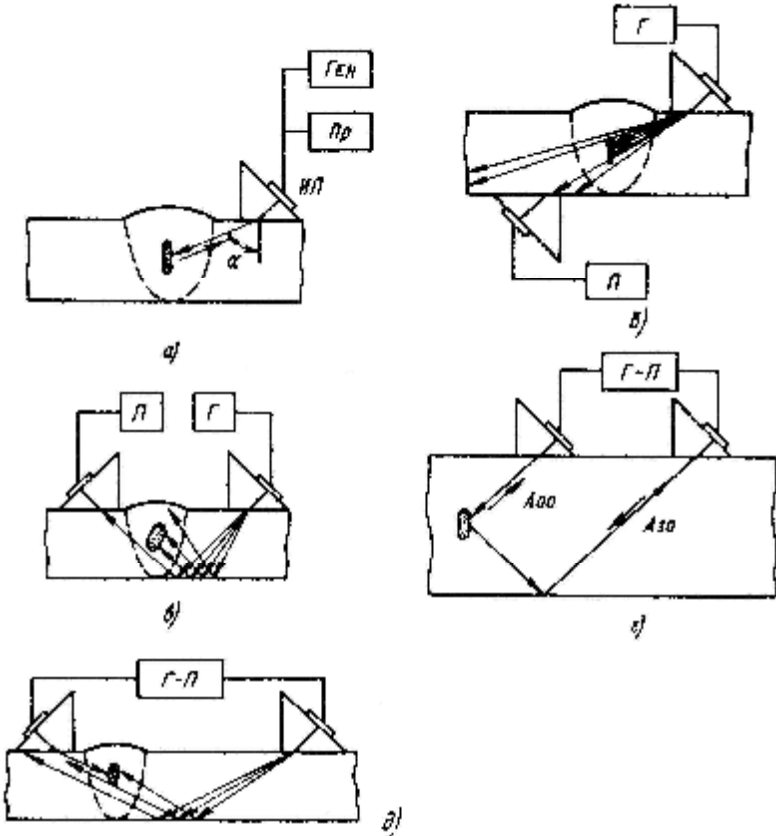
- імпульсний ехо-метод (просто ехо-метод);
- тіньовий;
- дзеркально-тіньовий;
- ехо-дзеркальний;
- ехо-тіньовий.

При імпульсному ехо-методі ловляться ехо-сигнали, відбиті від нещільностей.

Даний метод широко використовують для контролю всіх видів зварних з'єднань з  $\delta > 4$  мм. Відрізняється високою чутливістю, виявляючи дефекти  $> 0,5$  мм<sup>2</sup> на глибині 100 мм. Його перевагою є можливість ведення контролю з однієї сторони шва. Однак він відзначається низькою перешкодостійкістю. Окрім цього, амплітуда відбитого сигналу залежить від орієнтації дефекта (кута падіння УЗ проміння на поверхню дефекту).

При тіньовому і дзеркально-тіньовому методах фіксують

зменшення амплітуди УЗК при наявності нещільностей на їх шляху.



а — ехо-метод; б — тіньовий; в — дзеркально-тіньовий; г — ехо-дзеркальний; д — ехо-тіньовий метод

Рисунок 7.6 — Способи ультразвукового контролю

При тіньовому способі контролю УЗ промінь іде від генератора до приймача, розташованого на зворотній стороні листа. Даний метод відзначається високою перешкодостійкістю. Зміна величини сигналу мало залежить від орієнтації дефекта. Однак при цьому способі не досить чітко фіксуються координати дефекта і потрібний двосторонній доступ до контрольованої ділянки. Використовують даний метод для контролю виробів невеликої товщини з грубо обробленою поверхнею.

При дзеркально-тіньовому методі не потрібний доступ до зворотної сторони листа. Даний метод дозволяє більш надійно визначати непровар в корені шва порівняно з тіньовим методом. Застосовують в тих же випадках.

При ехо-дзеркальному методі дефекти виявляють порівнюючи амплітуди зворотно і дзеркально відбитого сигналів від дефекту. Основною перевагою такого способу є висока виявлюваність пласких дефектів і можливість з'ясування їх форми. Застосовують тільки для великих товщин ( $> 400$  мм). Порівняно великий пороговий розмір дефекту ( $> 3$  мм).

Ехо-тіньовий метод використовують рідко. Переважно при механізованому контролі якості зварних труб.

При даному способі контролю про наявність дефектів судять по результатах порівняння (вимірювання) ехо-імпульсу від дефекту і по послабленню відбитого сигналу.

Метод відзначається великою ймовірністю виявлення і визначення характеру дефекту.

Недолік – потреба в складній багатоканальній апаратурі.

Існують також різні варіанти даних способів контролю, при яких використовують багатократно відбитий промінь.

УЗК зварних з'єднань різноманітних виробів здійснюється переважно за допомогою УЗ імпульсних дефектоскопів з призматичними (похилими) або прямими шукачами.

Дефектоскопи комплектуються суміщеними, роздільними або суміщено – роздільними шукачами прямими і призматичними.

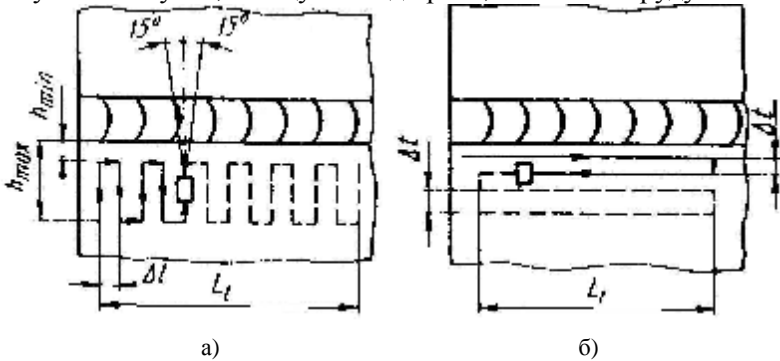
Для налаштування і тарування дефектоскопи комплектуються стандартними зразками № 1-4.

Промисловістю випускається ряд переносних дефектоскопів лабораторного типу УД-13, УД-2-12, УД-2-17 та ін., а також спеціалізовані установки для контролю поздовжніх, кільцевих і спіральних швів труб. Схему конструкцій і принципи дії УЗД розглянемо на лабораторній роботі.

### 7.6.3 Технологія УЗК

Перед початком контролю знайомляться з технічною документацією на виробі, визначають товщину і марку зварюваних матеріалів, типи і розміри швів, вибирають спосіб прозвучування, кут введення променя і межі пересування шукача в залежності від типу і конфігурації шва.

Виріб необхідно підготувати до проведення операції контролю. Для цього ділянки контрольованого шва і суміжної поверхні, по якій буде пересуватись шукач, очищують від бризк, окалини і бруду.



а — поперечно-поздовжній спосіб; б — поздовжньо-поперечний

Рисунок 7.7 — Схеми пошуку дефектів при ультразвуковому контролі

При виявленні зовнішнім оглядом видимих поверхневих дефектів їх попередньо усувають відповідно до вимог ТУ.

Після закінчення підготовки деталі проводять налаштування дефектоскопа за стандартними зразками і перевіряють достовірність його показань на еталонних зразках, виготовлених з того ж матеріала що і контрольована деталь.

Методику пошуку дефектів вибирають враховуючи необхідність виявлення дефектів з мінімальним розміром при найменшій кількості затраченого часу.

Можна використовувати 2 схеми сканування: зворотно-поступальну по відношенню до шва, або поперечно-повздовжнє переміщення шукача вздовж шва.

При зворотно-поступальному пересуванні шукача крок ( $\Delta t$ )

залежить від кута призми і становить 1 – 4 мм (при  $\beta = 45^0$ ) і є тим більшим, чим далі від шва.

При поперечно-поздовжньому пересуванні шукача  $\Delta t$  приймають рівним 2 мм. При цьому мінімальна відстань від шва до шукача  $h_{\min}$  обумовлена конструкцією шукача (ставиться впритик до шва), а максимальна відстань від шва до шукача  $h_{\max}$  дорівнює: при однократно відбитому промені

$$h_{\max} = \delta t g \alpha.$$

при багатократному відбитті променю

$$h_{\max} = (n + 1) \delta t g \alpha.$$

$\alpha$  - кут розповсюдження УЗК в виробі;

$n$  - кількість відбитків ультразвукового променю в металі.

Зона пересування шукача в кожному конкретному випадку визначається згідно графіків, таблиць, номограм чи розрахунково-експериментальним шляхом.

Для різних товщин матеріала параметри контролю істотно відрізняються.

Шви малої товщини (3 – 8 мм) звичайно прозвучують прямим променем. При цьому, чим менше товщина, тим більше кут введення променю ( $\beta = 50 - 55^0$ ). Як правило, чим менше товщина, тим важче відрізнити хибні сигнали від дефектів через вплив валків на результати контролю.

При невисоких валиках і повільному переході підсилення до основного метала використовують багатократно відбитий промінь.

Стикові шви з  $\delta = 10 - 30$  мм контролюють однократно і двократно відбитими променями шукачів з  $\beta = 40 - 50^0$ . А при  $\delta > 30$  мм – прямим і однократно відбитим променем при  $\beta = 30, 40, 50^0$ . При значних товщинах можливе проведення контролю “пошарово”.

Таврові з'єднання можна контролювати прямими шукачами зі сторони основного елемента, а похилими шукачами – як зі сторони основного так і приварного елемента.

При всіх випадках контролю для забезпечення надійного акустичного контакту між шукачем і поверхнею виробу на контрольовану поверхню наносять рідкі мастила (мінеральні мастила, гліцерин або навіть воду). На рельєфну поверхню наносять густі мастила (солідол, тавот).

При виявленні дефекта оцінюють його розміри і координати розташування.

Для визначення площі дефекта міряють амплітуду ехо-сигналу і порівнюють її з амплітудою сигналу від дискового відбивача еталонного зразка, розташованого на такій же глибині (з того ж матеріалу).

Приблизні розміри дефекта можна оцінити визначивши його умовну довжину і ширину при пересуванні шукача по виробу.

### **7.7 Неруйнуючі методи контролю напруженого стану**

До методів неруйнуючого контролю, які базуються на реєстрації зміни напружено-деформованого стану зварного з'єднання, відносяться методи акустичної емісії і голографічний (інтерференція світлових або звукових хвиль). Їх використовують для діагностики відповідальних вузлів ядерних реакторів і літальних апаратів.

Ці методи дають можливість слідкувати за виникненням і розвитком дефектів і оцінювати ступінь небезпечності ситуації, яка виникла.

Більш розповсюдженим для зварних конструкцій є метод акустичної емісії (АЕ).

Він базується на розповсюдженні пружних хвиль в твердому тілі при зміні його напружено-деформованого стану.

Хвильові процеси в твердому тілі виникають при затвердінні розплаву, фазових перетвореннях, пластичній деформації, виникненні і утворенні тріщин.

Сигнали акустичної емісії несуть інформацію про ці процеси. Енергія і амплітуда сигналів свідчить про енергетичні масштаби явища в залежності від видів дефектів і умов їх виникнення. Частота імпульсів АЕ певним чином пов'язана з темпом (швидкістю) протікання процесів.

Для реєстрації АЕ використовують високочутливу апаратуру, що працює в широкому діапазоні.

Перевагою метода АЕ є:

- висока чутливість;
- можливість слідкувати за виникненням і розвитком дефектів;
- контроль об'єктів нерухожими датчиками без сканування;
- простота використання метода в процесі виконання технологічних операцій і можливість його використання для управління процесом.

## **7.8 Радіаційний контроль**

### **7.8.1 Суть і різновиди способів радіаційного контролю**

Радіаційні способи контролю якості зварних з'єднань базуються на реєстрації зміни інтенсивності іонізуючого випромінювання після проходження його крізь контрольований виріб.

Відомо, що багато видів іонізуючого випромінювання (R-промені,  $\gamma$ -промені і потоки нейтронів) відрізняються високою проникаючою здатністю і можуть пронизувати металеві вироби значної товщини. При проходженні крізь зварне з'єднання ці промені ослаблюються по-різному в суцільному металі і на ділянках з дефектами.

Фіксуючи за допомогою будь-якого детектора зміну інтенсивності випромінювання, виявляють наявність дефектів. Найчастіше для дефектоскопії застосовують рентгенівське випромінювання (R-промені) і  $\gamma$ -промені. Рідше - потоки нейтронів, які використовують переважно для дефектоскопії радіоактивних матеріалів, а також надвеликих товщин.

Рентгенівські промені (гальмівне випромінювання) отримують за допомогою рентгенівських трубок, які являють собою вакуумну колбу з двома електродами, між якими прикладена висока напруга  $U_a = 30-500$  кВ .

Електрони, випромінювані катодом, прискорюються анодною напругою, набираючи енергію  $e \cdot U_a$ , а потім гальмуються на аноді, генеруючи R-промені. Рентгенівські промені, що виникають при низьких напругах  $U_a = 20-30$  кВ мають велику довжину хвилі

0,15 – 0,10 мм і вважаються м'якими. R – промені, що утворюються при високих  $U_a = 30\text{--}1500$  кВ мають малу довжину хвилі 0,1–0,001 мм і вважаються жорсткими.

За допомогою рентгенівських трубок просвічують метали товщиною до 100 мм, використовуючи промені енергією до 1 МеВ. Випромінювання енергією 10 – 30 МеВ генерують за допомогою бетатронів, мікротронів і лінійних прискорювачів, що дає можливість просвічувати товщини до 1000 мм.

Гамма-промені випромінюються ядрами натуральних або штучних радіоактивних ізотопів при їх розпаді.

В промисловій дефектоскопії використовують радіоактивні ізотопи, які отримують при опроміненні неактивних заготовок в нейтронних потоках атомних реакторів (Co-60, Ir-192) або натуральні ізотопи, які одержують при виділенні з залишкових продуктів ядерного реактора (Cs-137, Sr-90).

Нейтронне випромінювання виникає в процесі ядерних реакцій при бомбардуванні атомних ядер частками, чи  $\gamma$  - квантами і при поділі атомних ядер. Вони мають високу проникну здатність.

В залежності від способу індикації дефектоскопічної інформації при радіаційних методах контролю вони розподіляються на радіографічний, радіоскопічний і радіометричний.

Радіографія – метод контролю, при якому тіньове зображення внутрішньої структури об'єкта відображується на фотоплівці, фотопапері чи ксерограмі.

Рентгенівська плівка (папір) покрита шаром бромистого (йодистого) срібла, в кристалах якого під дією променів відбуваються зміни, завдяки яким при проявленні плівки відновлюється металічне срібло.

Рентгенівська плівка не чутлива до нейтронного випромінювання. Тому при його використанні застосовують фольгу з міді або срібла. Вона стає радіоактивною під дією нейтронів. Випромінювані радіоактивною фольгою  $\gamma$  і  $\beta$  - промені засвічують притиснену до неї рентгенівську плівку, відтворюючи зображення просвічуваного об'єкта.

Чутливість радіографічного метода контролю 1 – 2 %  $\delta$ .

Радіоскопія – метод контролю, при якому отримують видиме динамічне зображення внутрішньої конструкції просвічуваного

об'єкта. Джерелом випромінювання є рентгенівські апарати. Детекторами є флуороскопічні екрани, електронно-оптичні перетворювачі, рентгенвідеокони. Чутливість метода 3–8 % δ.

При радіометрії інформацію про якість просвічуваного виробу отримують у виді електричних сигналів. Джерело випромінювання – радіоізотопи. Детектори - сцинтиляційні кристали і газорозрядні лічильники. Чутливість 0,3–10 % δ.

### 7.8.2. Проведення радіографії зварних з'єднань

Процес проведення радіографії складається з наступних етапів:

- вибір джерела випромінювання;
- вибір плівок і екранів;
- визначення режимів просвічування;
- вибір схеми просвічування;
- підготовка виробу і його просвічування;
- фотообробка і розшифровка знімків.

В стаціонарних умовах для контролю виробів товщиною до 80 мм найбільше розповсюдження знайшли рентгенівські апарати, а в польових умовах γ - дефектоскопи.

Рентгенівські апарати бувають кабельні і моноблочні, безперервної дії та імпульсні.

Апарати безперервної дії: РУП – 60 – 20 – 1М (моноблок).

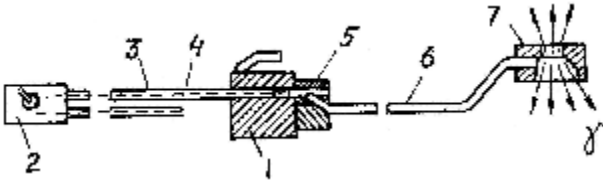
Кабельні: РАП 150 – 3ДФ, РУП – 200 – 5 – 2, РУП – 400 – 5 – 1 та ін.

Імпульсні: МІРА – 2Д, РАПС – 1М.

В кабельних окремо змонтована трубка на штативі, джерело живлення, пульт керування, які з'єднані кабелями.

В моноблоках R – трубка і трансформатор змонтовані в одному блоці і залиті трансформаторною олією, або заповнені спеціальною сумішшю газів, наприклад, сірко-фтористим газом.

Для γ - просвічування використовують шлангові дефектоскопи серії Гаммарід: Гаммарід 192/120, Гаммарід 170/400, Гаммарід 90/192. Перша цифра показує масове число радіонуклідів, друга – активність в Кюрі ( $1 \text{ Ku} = 37 \cdot 10^9$  розпад/с).



1 — радіаційна головка; 2 — привід управління; 3 — з'єднувальні шланги; 4 — трос; 5 — направляюча головка; 6 — ампулопровід; 7 — колімато́р

Рисунок 7.8 — Схема будови  $\gamma$ -дефектоскопа

З точки зору чутливості рентгенівських апаратів найкращим є м'яке випромінювання, яке отримують при низьких напругах ( $U_a$ ). З підвищенням  $U_a$  чутливість падає.

Для  $\gamma$ -променів чутливість також знижується зі збільшенням їх жорсткості. При використанні Tm-170 для малих товщин чутливість контролю складає 1-2 % Ir- 2-3 %, Co — 4-8 %. На великих товщинах (30 - 50 мм) більш чутливим є кобальт (2-3 %), інші ізотопи (> 3-5 %).

При радіографії використовують безекранні і екранні рентгенівські плівки.

Безекранні РТ-1, РТ-3, РТ-4, РТ-5 (по мірі збільшення їх контрастності).

Екранні плівки використовують з підсилюючими флуорисцентними екранами. Це плівки РТ-2 і медичні плівки РМ-1, РМ-2, РМ-3, чутливі як до рентгенівських, так і видимих УФ-променів. По мірі збільшення номера плівки збільшується їх контрастність і зменшується чутливість.

Плівки РТ-1, РТ-2 є малоко́нтрастними і використовуються для просвічування великих і середніх товщин. РТ-4, РТ-5 — висококо́нтрастні для просвічування легких металів малої товщини, а також тонколистових сталей, наприклад, контактне зварювання.

Схему просвічування обирають з таким розрахунком, щоб досягалось найкраще знаходження дефектів.

Необхідно пам'ятати, що тріщини і непровари виявляються, коли кут між напрямком променів і площиною розкриття дефекта не перевищує  $10-15^\circ$ . Тріщини, розташовані в площині перпендикулярній до напрямку променів, практично не виявляються.

Краще знайти дефекти стикових з'єднань.

В з'єднаннях внапуск і таврових дефекти виявляються гірше, бо промені направлені під кутом.

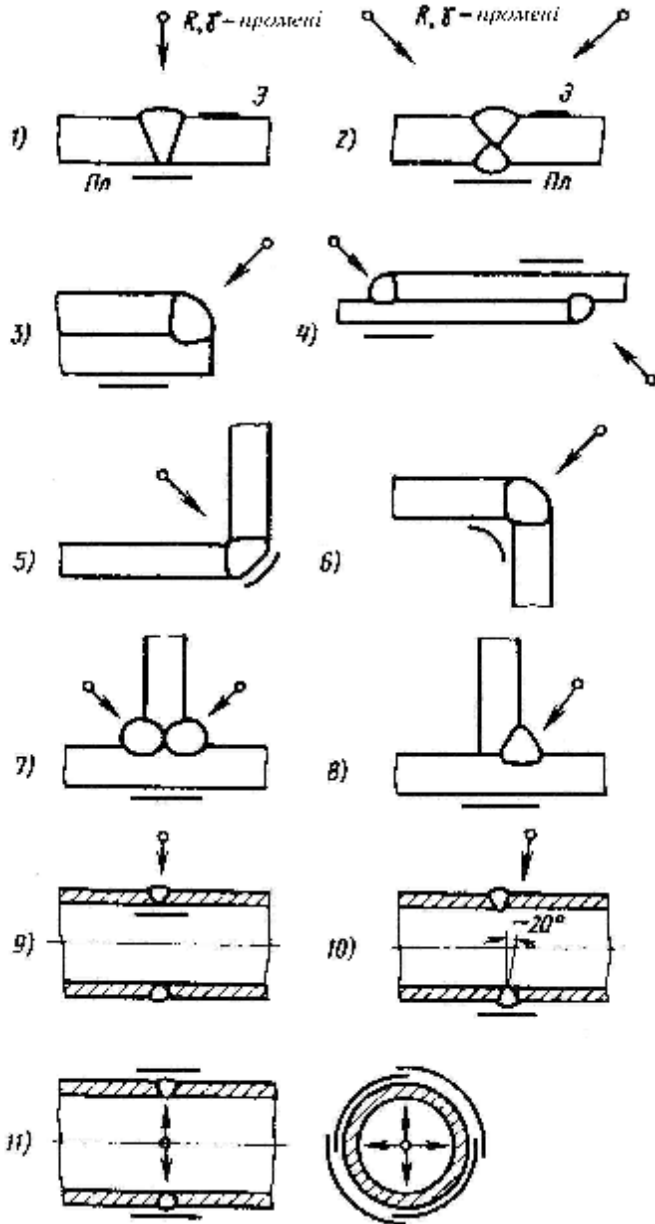


Рисунок 7.9 – Схеми просвічування зварних з'єднань

При виборі режимів слід пам'ятати – чим більше жорсткість випромінювання, тим менша експозиція і тим гірша виявлюваність дефектів.

При контролі легких сплавів  $U_a = 20$  кВ, сталі малої товщини  $U_a = 100 - 150$  кВ, середньої товщини –  $200 - 400$  кВ.

Час просвічування обирають експериментально на дослідних зразках і еталонах, або по номограмах.

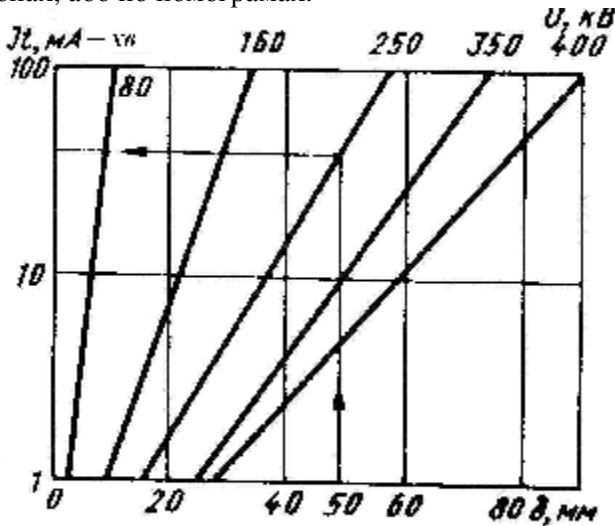


Рисунок 7.10 — Типова номограма експозиції при рентгенографії (плівка РТ-1,  $F=75$  см)

Номограми складені з урахуванням марок і товщини матеріалу, фокусної відстані, комбінації плівок і екранів.

Якщо фокусна відстань змінюється, то час експозиції також змінюється пропорційно квадрату відношення фокусних відстаней.

Експозицію при гама-дефектоскопії також визначають по номограмах. При цьому необхідно пам'ятати, що активність радіонуклідів з часом зменшується по експоненціальному закону. Тому для елементів з малим періодом напіврозпаду необхідно робити поправки на зменшення їх активності. Не рекомендується використовувати ампули довше їх періоду напіврозпаду.

Активність радіонукліда через час  $t$  буде:

$$Q_t = Q_0 \exp(-0,7t/t_{1/2}),$$

де  $t_{1/2}$  - час напіврозпаду.

Перед просвічуванням необхідно забезпечити надійне кріплення плівки і еталонів, а також виключити можливість вібрації і переміщень.

Еталони кладуть на поверхню виробу поруч зі швом. Еталони – канавочні і дротяні. На канавочному еталоні – 6 канавок. Три типорозміри охоплює розміри канавок від 0,1 до 4 мм.

Дротяні еталони мають 4 типорозміри дротів по 7 шт. в кожному еталоні. Діаметри від 0,05 до 4 мм.

По найменшому видимому сліду роблять висновок про розміри дефектів.

Після фотографування проявляють плівки відповідно до рекомендацій на упаковці. Після висихання знімків їх розшифровують. Враховуючи наявність на плівці значної кількості власних дефектів, розшифровку повинен вести досвідчений дефектоскопіст. У відповідальних випадках здійснюють зарядку касети зразу двома плівками.

Знімок можна розглядати і аналізувати у випадку, якщо:

- на ньому видно всю ділянку шва з навколошовною зоною;
  - чітко видно всі таврувальні знаки і еталони;
  - дефекти плівки (плями, подряпини) не повинні перевищувати допустимих по нормативно-технічній документації розмірів;
  - оптична щільність знімку повинна складати 1,5-2 од.
- Щільність – це  $I_g$  відношення світлових потоків, які попадають на плівку до тих, що пройшовли крізь неї. 2 - це ослаблення в 100 раз, бо  $I_g 100 = 2$ .

### 7.8.3 Радіоскопія зварних з'єднань

Радіоскопія базується на перетворенні в детекторі схованого радіаційного зображення в світлогіньове або електронне з наступним підсиленням і передачею цього зображення на телеекран.

Існує 3 різновиди передачі інформації при радіоскопії:

- а) пряме перетворення на екран і безпосередня передача зображення;
- б) каскадне перетворення і безпосередня передача зображення;

в) каскадне перетворення і дистанційна передача зображення.

Як правило, для проведення радіоскопії використовують рентгенівські промені.

Пряме перетворення рентгенівського випромінювання у видиме здійснюється за допомогою флуороскопічних екранів і сцинтиляційних кристалів.

Флуороскопічні екрани мають покриття з солей (Zn, Cd)S, CaWO<sub>3</sub>, які світяться під дією R – променів на принципі люмінесценції.

В сцинтиляційних кристалах використовують здатність монокристалів CsI, NaI, KI світитись під дією іонізаційного випромінювання. Ці кристали порівняно з флуороскопічними екранами відрізняються більшою чутливістю і яскравістю.

Для каскадного перетворення і передачі зображення використовуються електронно-оптичні перетворювачі і електролюмінесцентні екрани. Найбільш чутливими детекторами є рентгенвідеокони, в яких за допомогою спеціального рентгенфотокатода здійснюється безпосереднє перетворення R– випромінювання у відеосигнал.

На тонкому металі ( $\delta < 10$  мм) рентген-відеокони забезпечують чутливість 1 – 2 %. На товстому 4 – 8 %. Решта детекторів мають чутливість 4 – 20 %.

Тому для відповідальних виробів радіоскопію доцільно застосовувати як пошуковий метод перед радіографією.

#### 7.8.4 Радіометрія зварних з'єднань

Радіометрія базується на перетворенні потоку проникаючого випромінювання в пропорційний за величиною електричний сигнал. Це здійснюється за допомогою сцинтиляційних і газорозрядних лічильників, а також газорозрядних камер.

Дія сцинтиляційних лічильників базується на вимірюванні інтенсивності світлових спалахів, які виникають в люмінокофорах-сцинтиляторах під дією випромінювання. Світловий потік за допомогою фотокатода перетворюється в електричний сигнал. Такі лічильники відзначаються малим часом висвічування і високою

чутливістю у порівнянні з газоразрядними камерами і лічильниками.

При радіометрії використовують різні види і джерела випромінювання, що дозволяє контролювати товщини до 500 мм з чутливістю 0,15 – 1 %. Продуктивність контролю до 200 м/год.

Основні недоліки радіографії обумовлені інтегруючими властивостями її сигналів, що приводять до одночасної реєстрації як дефектів, так і перешкод, пов'язаних з коливанням товщини і нерівностями шва. Тому для контролю переважно використовують двоканальну схему радіометрії, порівнюючи еталонну бездефектну ділянку шва з дефектами.

## **8 РУЙНУЮЧІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ**

До руйнуючих методів контролю відносяться механічні випробування, визначення корозійної стійкості і зносостійкості при різних видах зношування, металографічні дослідження, оцінка стійкості зварних з'єднань проти утворення гарячих, холодних тріщин і від втоми, перевірка матеріалів на зварюваність за допомогою технологічних проб та ін. Техніку проведення механічних випробувань з метою визначення межі міцності і текучості, відносного видовження і звуження, ударної в'язкості і твердості детально розглядали в процесі вивчення предмету „Опір матеріалів”. Визначення міцності зварних з'єднань проводиться на плоских зразках, вирізаних з технологічних проб чи зразків-свідків, заварених тими ж матеріалами і в тих же умовах, що і виріб, шляхом випробування їх на розрив. Визначення пластичності зварних з'єднань проводиться на аналогічних плоских зразках шляхом їх загину до появи першої тріщини. Методики проведення інших методів визначення експлуатаційних властивостей матеріалів були розглянуті в курсах „Хімії”, „Технології конструкційних матеріалів”, „Матеріалознавство і термічна обробка”, „Теорія зварювальних процесів” й „Триботехніка”.

## ВИСНОВОК

В даному курсі розглянуті найбільш розповсюджені методи контролю. Вибір конкретного метода перевірки якості певного виробу буде залежити від технічних вимог на його виготовлення, наявності відповідного контрольного обладнання чи затрат на його придбання, технічних можливостей використаних методів контролю, наявності виконавців потрібної кваліфікації.

Правильний і обґрунтований вибір методів і засобів контролю забезпечить виготовлення виробів потрібної якості при мінімальних економічних затратах.