

Г. Є. Федоров  
М. М. Ямшинський  
А. М. Фесенко  
М. А. Фесенко

# **Контроль якості продукції в машинобудуванні**



УДК 621.74.002.6:669.13  
ББК

Гриф надано Міністерством освіти  
і науки України  
(Лист від \_\_\_\_\_ 2008 р. № \_\_\_\_\_)

Рецензенти:

Ю.В. Моїсєєв, завідувач відділу автоматизації,  
докт.техн.наук (Фізико-технологічний інститут ме-  
талів і сплавів НАН України)

В.А. Андерсон, канд.техн.наук, заступник директора  
(ВАТ „КАМЕТ-ТАС”)

Відповідальний редактор

В.М. Дробязко

Г.Є. Федоров, М.М. Ямшинський  
А.М. Фесенко, М.А. Фесенко

Контроль якості продукції в машинобудуванні:  
Навч. посіб. – К.: ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2008. – 352 с.

Викладено основні поняття і визначення щодо якості продукції. Наведено номенклатуру техніко-економічних показників, класифікацію видів контролю якості продукції та етапи її формування, послідовність здійснення атестації виробництв та сертифікації продукції, класифікацію дефектів, руйнівні і неруйнівні методи контролю якості продукції в машинобудуванні, сучасні прилади, засоби та матеріали для контролю якості промислової продукції неруйнівними методами.

Книга може бути корисною для інженерно-технічних працівників підприємств та науковців.

ISBN  
ББК

УДК 621.74.002.6:669.13

© Г.Є. Федоров, М.М. Ямшинський, 2008  
© А.М. Фесенко, М.А. Фесенко, 2008



# ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА</b> .....	<b>6</b>
<b>1 ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ</b> .....	<b>8</b>
1.1 Основні поняття і визначення.....	8
1.2 Класифікація техніко-економічних показників якості продукції.....	9
1.3 Оцінка рівня якості продукції.....	14
1.4 Контроль якості продукції.....	16
1.5 Класифікація видів контролю.....	16
1.6. Структура і основні функції відділу технічного контролю на машинобудівному підприємстві.....	22
<b>2 ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ</b> .....	<b>25</b>
2.1 Причини, що вимагають покращання якості продукції.....	25
2.2 Етапи формування якості продукції.....	26
2.3 Стандартизація і якість продукції.....	28
2.4 Система сертифікації продукції УкрСЕПРО .....	30
2.4.1 Атестація виробництва .....	30
2.4.2. Послідовність проведення атестації виробництва .....	31
2.4.3 Послідовність проведення сертифікації продукції.....	33
2.4.4 Системи управління якістю (ДСТУ ISO 9001-2001) .....	35
<b>3 ДЕФЕКТИ, ПРИЧИНИ ЇХ ПОЯВИ І КЛАСИФІКАЦІЯ</b> .....	<b>38</b>
3.1 Загальна характеристика дефектів.....	38
3.2 Класифікація дефектів виливків.....	41
3.3 Приклади реальних виливків з дефектами .....	41
3.4 Брак виливків і його попередження .....	66
<b>4 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ</b> .....	<b>73</b>
4.1 Загальна характеристика методів контролю.....	73
4.2 Руйнівні методи контролю.....	74
4.3 Неруйнівні методи контролю .....	110
4.3.1 Загальна характеристика неруйнівних методів контролю якості промислової продукції .....	110
4.3.2. Оптичний метод контролю.....	113
4.3.3 Капілярні методи контролю .....	122
4.3.4 Магнетні методи контролю .....	134
4.3.5 Акустичні методи контролю .....	156
4.3.6 Контроль течешуканням.....	171
4.3.7 Радіаційні методи контролю .....	186
4.3.8 Радіохвильові методи контролю .....	213
4.3.9 Електромагнетні методи контролю (Вихорострумний контроль) .....	215
4.3.10 Електричні методи контролю.....	226
4.3.11 Теплові методи контролю.....	236
<b>5 СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ</b> .....	<b>249</b>

<b>6 КОНТРОЛЬ МАТЕРІАЛІВ І РОБІТ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ</b> .....	257
6.1 Контроль виробів вимірюванням.....	259
6.2 Контроль формувальних матеріалів і сумішей.....	264
6.3 Контроль якості форм і стрижнів .....	269
6.4 Контроль якості шихтових матеріалів і сплавів .....	272
<b>7 СУЧАСНІ ПРИЛАДИ, ЗАСОБИ І МАТЕРІАЛИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОМИСЛОВОЇ ПРОДУКЦІЇ НЕРУЙНІВНИМИ МЕТОДАМИ</b> .....	278
7.1 Візуально-оптичний контроль .....	278
7.2 Капілярний контроль.....	279
7.3 Магнетний контроль.....	284
7.4 Акустичний контроль .....	298
7.5 Радіаційний контроль .....	308
7.6 Тепловий контроль.....	319
7.7 Електромагнетний (вихорострумний) контроль .....	333
7.8 Прилади для контролю якості поверхні виробів відповідального і особливо відповідального призначення.....	337
7.9 Переносні і стаціонарні вимірювачі твердості .....	344
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	349
<b>ДОДАТОК А</b> .....	351
<b>ДОДАТОК Б</b> .....	356

## ПЕРЕДМОВА

Рівень розвитку промисловості на сучасному етапі характеризується не тільки об'ємом виробництва і асортиментом вироблюваної продукції, але і показниками її якості. Одним із основних завдань підвищення ефективності промисловості є покращання якості використуваних сировини, матеріалів, напівфабрикатів і виробів, що дає можливість подовжити довговічність та підвищити надійність машин і механізмів, знизити їх матеріало- і енергоміскість та підвищити продуктивність праці.

У вирішенні загальнодержавної задачі підвищення якості продукції важливе місце посідають методи і засоби контролю. Їх розвиток відноситься і завжди буде відноситись до найважливіших напрямків науково-технічного процесу.

Контроль якості продукції є наймасовішою технологічною операцією у виробництві, оскільки ні одна заготовка, ні одна деталь не можуть бути виготовлені без визначення їх технічних характеристик. У зв'язку з ускладненням і неухильним підвищенням надійності нової техніки трудомісткість контрольних операцій в промисловості суттєво збільшується. Витрати на контроль якості складають у середньому 1...3% вартості вироблюваної продукції, а в таких галузях промисловості, як оборонна, атомна, аерокосмічна тощо, витрати на контроль якості зростають до 12...18%; на контроль зварових з'єднань у суднобудуванні витрачають біля 5% загальної вартості контрольованих вузлів і матеріалів, у ракетобудуванні – до 20%, у будівництві житлових і промислових багатоповерхових будівель – 1,0...1,5%; у будівництві трубопроводів великого діаметра – до 10%, у котлобудуванні – 1,0...2,0%. Проте указані витрати швидко окупуються, оскільки використання сучасних високопродуктивних методів і засобів контролю на всіх етапах виготовлення і приймання продукції радикально підвищує її якість і надійність. Високоякісна продукція приносить на 40% більше прибутку, ніж продукція звичайної якості.

Високоякісний об'єкт повинен відрізнятися сталістю хімічного складу, макро- і мікроструктури, електричних і магнетних характеристик матеріалу, незмінюваними геометричними розмірами, високими механічними, антикорозійними та іншими властивостями.

Об'єктивний кількісний аналіз наведених параметрів дуже складний, а тому значною мірою визначається розвитком комплексних засобів контролю, особливо неруйнівних, в яких використовують одночасно різні за фізичною природою методи дослідження. Тільки різні за принципом дії з речовиною методи контролю можуть вилучити недоліки дослідження, взаємно доповнити один одного і забезпечити одержання достовірної інформації щодо якості виробу. Значною мірою

це залежить від фізичної сутності методу і можливості його практичної реалізації в умовах виробництва.

Особливе місце посідають засоби неруйнівного контролю як основні елементи технічної діагностики і як найважливіша складова частина гнучких автоматизованих виробництв.

Робототехнологічні комплекси неруйнівного контролю, обчислювальні томографи, автоматизовані системи оброблення зображень фізичних полів – нові пристрої автоматизації сучасної техніки і виробництва, які швидко розвивають і впроваджують у промисловість.

У навчальному посібнику викладені основні поняття і визначення щодо якості продукції, класифікації техніко-економічних показників продукції, видів контролю та дефектів, руйнівні і неруйнівні методи контролю якості продукції; наведені відомості щодо будови приладів, принципів їх дії і використання в різних методах руйнівного і неруйнівного контролю якості матеріалів і виробів у промисловості, сучасні прилади, засоби та матеріали для контролю якості промислової продукції неруйнівними методами.

Книга може бути корисною для інженерно-технічних працівників підприємств та науковців.

Автори висловлюють щире подяку викладачам і співробітникам кафедри ливарного виробництва чорних і кольорових металів Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут» за допомогу в підготовленні цієї книги.

Автори будуть безмежно вдячні колегам і всім, хто забажає надати свої зауваження та пропозиції щодо покращання цього видання.

# 1 ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ

## 1.1 Основні поняття і визначення

**Продукція** – матеріалізований результат людської діяльності, призначений для задоволення певних потреб.

Ту частину промислової продукції, яка може бути охарактеризована дискретною величиною, наприклад, в штуках, називають **виробами**. Це верстати, машини, літаки, автоматичні лінії різного призначення тощо. Залежно від способу використання продукції за цільовим призначенням її розділяють на два класи:

- продукція, що витрачається під час використання;
- продукція, під час експлуатації якої витрачається її ресурс.

Промислову продукцію обох класів розділяють на п'ять груп. До першого класу відносять такі групи продукції:

- група 1 – сировина і природне паливо: руди і їх концентрати, природне рідке, тверде і газоподібне паливо, природні будівельні і декоративні матеріали тощо;

- група 2 – матеріали і продукти, виготовлені промисловим переробленням або синтезом природних ресурсів;

- група 3 – витратні вироби, які випускають у промисловій упаковці: рідке паливо в бочках, газу в балонах, кабелі в бобінах тощо.

До другого класу відносять такі групи продукції:

- група 4 – вироби, які не піддаються ремонту, тобто такі, працездатність яких після відмови не може бути поновленою через їх фізико-хімічні або конструктивні особливості (свічка запалювання двигуна, клиновий пас, електровакуумний прилад, підчіпники тощо) або їх відновлення економічно є недоцільним (електронна лампа, зубчасті колеса, вали тощо);

- група 5 – вироби, працездатність яких може бути відновлена після відмови ремонтом: сільськогосподарські машини, верстати, технологічне устаткування, кіно- і фотоапаратура тощо.

Кожний клас, група, вид продукції має різноманітні властивості, через які можна відрізнити конкретний вид продукції від будь-якого іншого.

**Властивість продукції** – це об'єктивна особливість продукції, яка проявляється під час її створення, експлуатації або використання.

Властивості продукції можна охарактеризувати **якісно** і **кількісно**.

Прикладами якісних характеристик властивостей продукції є: колір матеріалу, форма виробу, профіль прокату, спосіб скріплення (зварювання, склеювання, клепаання), спосіб передавання енергії тощо.



До кількісних характеристик властивостей можна віднести геометричні параметри виробу, потужність і продуктивність машини тощо.

Не всі властивості продукції мають однакову значущість: одні з них є дуже важливими, другі – основними або допоміжними, треті – зовсім не мають значення і ніяк не відбиваються на ефективності використання цієї продукції. Наприклад, для сучасного вантажного автомобіля такі властивості, як безпека руху, паливна економічність, прохідність, можна вважати дуже важливими; властивості, що характеризують комфортабельність – основними, а герметичну проникність кузова – допоміжною властивістю.

**Якість продукції** – сукупність властивостей продукції, які обумовлюють її придатність задовольняти певні потреби у відповідності з її призначенням.

Для того, щоб конкретний вид продукції задовольняв потреби, необхідне формування високого рівня її якості під час розроблення, виготовлення та підтримування досягнутого рівня під час експлуатації.

**Кількісну характеристику властивостей продукції, які входять до складу її якості, називають показником якості продукції.**

Показники якості розділяють на **одиничні і комплексні**.

До одиничних показників можна віднести розміри виробу, його масу, рівень шуму, середній термін експлуатації тощо.

Комплексні показники якості характеризують одночасно декілька властивостей, наприклад, для автомобіля комплексними показниками є маневреність, стійкість, прохідність, керованість тощо.

## **1.2 Класифікація техніко-економічних показників якості продукції**

Розподіл показників якості продукції на групи дає можливість всебічно охарактеризувати продукцію, виявити її відповідність вимогам сьогодення і нормативним документам.

Основними групами показників якості продукції є: показники призначення, надійності, технологічності, стандартизації і уніфікації, ергономічні, естетичні, патентно-правові, транспортабельності, екологічності і безпеки.

**Показники призначення.** Ця група показників є найбільш значущою, оскільки вони визначають технічні можливості конструкції або складу виробу та ефективності експлуатації продукції, наприклад, потужність, коефіцієнт корисної дії, чутливість, продуктивність, швидкість, витрати електроенергії, палива тощо.

Показники призначення, в свою чергу, розділяють на:

- **показники складу і структури**, які характеризують вміст в продукції хімічних елементів або структурних складових, наприклад, вміст сірки і золи в коксі тощо;

- **класифікаційні показники**, які характеризують належність продукції до певної класифікаційної групи (потужність електро-двигуна, місткість ковша екскаватора, зусилля пресування формувальної машини тощо);

- **показники функціональності і технічної ефективності**, які характеризують корисний ефект від експлуатації або використання продукції і прогресивність технічних рішень, що закладають у продукцію (вантажопідйомність мостового крана, швидкість транспортувальних засобів, циклічність роботи пресової машини, продуктивність плавильної печі тощо);

- **конструктивні показники**, які характеризують основні проектно-конструкторські рішення, зручність монтажу і установки продукції, можливість її агрегативання і взаємозамінності (габаритні і приєднувальні розміри, коефіцієнт ефективності взаємозамінності тощо).

Показники призначення є основними під час оцінки технічного рівня і якості продукції. Їх використовують як критерії під час оптимізації процесів керування якістю; на підставі вивчення показників призначення в часі будують прогнози розвитку техніки і планують підвищення якості продукції в галузях.

**Показники надійності.** Характеризують властивість виробу виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення установлених експлуатаційних показників у визначених межах, які відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування.

Якщо виріб не має необхідної надійності, то всі його технічні дані гублять своє практичне значення, оскільки не можуть бути повністю використані в роботі.

Порушення роботоздатності, тобто здатності виробу виконувати задані функції і зберігати значення заданих параметрів у межах, які установлені нормативною документацією, називають **відмовою виробу**.

Надійність виробів є комплексною властивістю, яка складається з показників безвідмовності, довговічності, ремонтнопридатності і збережливості:

- **показники безвідмовності** характеризують властивість виробу безперервно зберігати роботоздатність протягом деякого часу. До показників безвідмовності виробів, які не ремонтують, відносять: імовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, середнє

напрацювання до відмови, а до виробів, які ремонтують, – параметр потоку відмов, напрацювання на відмову;

– **показники довговічності** характеризують властивість виробу зберігати роботоздатність до появи граничного стану в умовах установленної системи технічного обслуговування і ремонтів. До показників довговічності відносять середній ресурс, призначений ресурс, середній ресурс між середніми (капітальними) ремонтами, середній строк роботи виробу до списання тощо;

– **показники ремонтнопридатності** характеризують властивість виробу, яка полягає в пристосованості до попередження і виявлення причин виникнення його відмов, пошкодження і усунення їх наслідків, проведення ремонтів і технічного обслуговування. До показників ремонтнопридатності відносять середній час відновлення і ймовірність відновлення в заданий час;

– **показники збережливості** характеризують властивість виробу безперервно зберігати справний і роботоздатний стан протягом строку зберігання і (або) транспортування. До показників збережливості відносять середній строк збережливості.

**Показники технологічності.** Характеризують властивість продукції, яка обумовлює оптимальний розподіл витрат матеріалів, коштів, праці та часу протягом технологічної підготовки виробництва, виготовлення та експлуатації продукції.

**Показники стандартизації і уніфікації.** Використання у виробках стандартних і уніфікованих складових знижує час і кошти на проектування і виготовлення виробів у цілому, забезпечує високу ремонтнопридатність і гарантує установлений нормативними документами стабільний рівень якості. Отже, чим вище насичення виробу стандартними і уніфікованими складовими, тим вища і стабільніша якість цього виробу.

Ступінь стандартизації і уніфікації виробу характеризується такими показниками – коефіцієнтами застосовності, повторюваності, взаємної уніфікації і уніфікації для групи виробів.

**Ергономічні показники.** Характеризують систему „людина – виріб“ і враховують ступінь відповідності виробу комплексу гігієнічних, антропометричних, фізіологічних, психофізичних і психологічних вимог людини, які пред’являють у виробничих і побутових умовах.

Ці показники використовують у тих випадках, коли необхідно визначити відповідність виробу ергономічним вимогам. Для цього вивчають функціональні можливості людини в процесі праці, її взаємодії з виробом і навколишнім середовищем з метою створення оптимальних умов, які забезпечили б найвищу продуктивність праці і в той же час максимум зручності і збереження здоров’я людини.

Номенклатура ергономічних показників встановлена нормативними документами:

- **гігієнічні показники** – характеризують відповідність виробу і робочого середовища вимогам санітарії і гігієни, наприклад, освітленість, температура, тиск, вологість, запиленість, токсичність, рівень шуму, вібрації тощо;

- **антропометричні показники** – характеризують відповідність виробу і його елементів формам і розмірам людського тіла і його частин. Вони повинні враховувати раціональну і зручну робочу позу, правильну осанку тощо. Наприклад, для оцінювання антропометричних властивостей пульта керування системою сумішоприготування враховують відповідність рукояток, перемикачів, ручок тощо розмірам кисті руки людини;

- **фізіологічні показники** – характеризують відповідність виробу особливостям органів чуття людини. Вони впливають на об'єм і швидкість робочих рухів, об'єм зорової інформації (з урахуванням розміру, яскравості, контрасту, кольору, просторового розташування об'єкта спостереження), слухової інформації тощо;

- **психологічні показники** – характеризують відповідність виробу особливостям і можливостям вищої нервової діяльності людини. Від цього залежать легкість і швидкість формування навичок керування і обслуговування машини, об'єм і швидкість сприйняття і перероблення людиною інформації за допомогою даного виробу. Наприклад, якщо кількість покажчиків і сигналізаторів надмірно велика, а їх розташування нераціональне, то знижується оперативність роботи людини, можливі помилки.

Більшість ергономічних показників (за винятком гігієнічних) визначають ергономісти–експерти за розробленою в конкретній галузі шкалою оцінок у балах.

**Естетичні показники.** Характеризують інформаційну виразність, раціональність форми, цілісність композиції і удосконаленість виробничого виконання продукції. Естетичні властивості проявляють себе в зовнішньому вигляді виробу.

Зовнішній вигляд повинен мати певні художні позитивні якості, емоційально впливати на людину. Художнє рішення виробу повинне відповідати його інженерно-технічній сутності і ергономічним вимогам.

Художньо-конструктивний рівень виробу оцінюють на підставі аналізу не просто кращих вітчизняних і зарубіжних виробів-аналогів, а таких, які відбивають суспільний естетичний ідеал на даний період часу.

**Патентно-правові показники.** Характеризують ступінь оновлення технічних рішень, використаних у продукції, їх патентний захист, а також можливість вільної реалізації продукції в Україні і за кордоном (патентна чистота). Офіційним документом, який свідчить про ці властивості виробу, є **патентний формуляр**.

До патентно-правових показників відносять такі: патентна чистота, показник територіального розповсюдження і патентний захист.

**Показник патентної чистоти** характеризує можливість вільної реалізації виробу як в Україні, так і за кордоном.

**Показник патентного захисту** характеризує ступінь захисту виробу патентами в Україні і за кордоном.

**Показники транспортабельності.** Характеризують ступінь пристосування виробу до транспортування його до місця використання за призначенням різними транспортними засобами, що в багатьох випадках є вирішальним фактором під час визначення галузі використання виробу. Необхідно брати до уваги складність і об'єм підготовувальних і остаточних операцій, які зв'язані з транспортуванням.

Для оцінки показників транспортабельності враховують масу і габаритні розміри виробів у підготовленому до транспортування стані, показники фізико-механічних властивостей виробів і гранично допустимі значення режимів транспортування (максимальна швидкість руху, допустимі інерційні перевантаження тощо).

**Екологічні показники.** Характеризують рівень шкідливих дій на навколишнє середовище, які виникають під час експлуатації або споживання продукції. Це – вміст шкідливих домішок, які викидаються в навколишнє середовище, ймовірність викидів в навколишнє середовище шкідливих часточок, газів, випромінювань під час зберігання, транспортування, експлуатації продукції тощо.

**Показники безпеки.** Характеризують особливості продукції, які обумовлюють безпеку обслуговуючого персоналу під час її використання. Такими показниками є ймовірність безвідмовної роботи, час спрацювання захисних пристроїв, електрична міцність ізоляції струмопровідних частин виробу, з якими можливе зіткнення людини тощо.

**Економічні показники.** Дають можливість оцінити витрати на розроблення, виготовлення, експлуатацію або споживання продукції (наприклад, собівартість виготовлення продукції, витрати на виготовлення і випробовування дослідних зразків, витрати на допоміжні матеріали під час експлуатації виробів).

За допомогою економічних показників оцінюють показники технологічності, ремонтнопридатності тощо.



### 1.3 Оцінка рівня якості продукції

Розрізняють три рівні якості продукції:

- **технічний** – рівень, який заснований на порівнянні показників, до складу яких не входять економічні показники;
- **техніко-економічний рівень** – рівень, заснований на порівнянні показників, у тому числі і економічних;
- **нормативний** – рівень, в якому показники знаходяться у межах граничних значень (максимум, мінімум).

**Оцінка рівня якості продукції** – це сукупність операцій, яка складається із вибору номенклатури показників, визначення їх числових значень та значень базових показників, обумовлених нормативними документами або визначених під час попередніх оцінок.

Номенклатуру показників якості вибирають з урахуванням мети оцінки, умов використання продукції та аналізу вимог споживачів і базових показників.

Вибір базових показників також залежить від мети оцінки.

Для визначення числових значень показників якості продукції використовують такі методи:

- **вимірювальний** – значення показників якості визначають за допомогою технічних вимірювальних засобів (наприклад, маси вилівка, твердості деталі, газопроникності ливарної форми тощо);
- **реєстраційний** – заснований на використанні інформації, яку одержують підрахуванням кількості подій, предметів або витрат, зокрема, кількості відмов виробу під час випробовувань, кількості стандартизованих або уніфікованих складових виробу тощо.

Цим методом, перш за все, визначають патентно-правові показники;

- **розрахунковий** – заснований на використанні теоретичних або емпіричних залежностей. Метод дає можливість розрахувати показники якості, наприклад, під час проектування продукції, коли остання ще не може бути об'єктом експериментальних досліджень; розрахувати показники технологічності, ремонтнопридатності тощо;

- **органолептичний** – заснований на інформації, яку одержують за допомогою органів чуття: зору, слуху, нюху, дотику та смаку. Значення показників визначають через аналіз одержаних відчуттів на підставі досвіду, тому точність і достовірність цих значень залежить від кваліфікації, здібності і навичок людей, які здійснюють оцінку. Органолептичний метод широко використовують під час визначення естетичних і деяких ергономічних показників, смаку харчових продуктів тощо.

Залежно від джерела інформації можна розділити методи визначення значень показників якості продукції на традиційні, експертні і соціологічні.

– **традиційний метод** – здійснюють посадові особи спеціалізованих експериментальних і розрахункових підрозділів підприємства, закладу або організації: лабораторій, полігонів, дослідних станцій, конструкторських відділів, обчислювальних центрів тощо;

– **експертний метод** – здійснюють члени експертної комісії, до складу якої входять спеціалісти-експерти: товарознавець, дизайнер, дегустатор тощо. Цим методом визначають значення таких показників якості, які на даному етапі не можуть бути визначені іншим, більш об'єктивним, методом;

– **соціологічний метод** – заснований на збиранні громадської думки споживачів (користувачів) продукції через усне опитування або за допомогою спеціальних анкет-питальників, а також організації виставок, аукціонів, дослідно-показової експлуатації продукції тощо.

Оцінку рівня якості проводять як для однорідної продукції (наприклад, вироби одного класу і призначення), так і для різномірної, яка випускається підприємством або галуззю.

**Карта технічного рівня і якості продукції (КР)** – основний документ, який вмістить усі відомості щодо технічного рівня виробу, показники його якості і результати оцінки якості виробу. КР використовують під час визначення доцільності подальшого розроблення і поставлення продукції на виробництво, а також під час атестації і прийняття рішення щодо модернізації, зняття з виробництва або експлуатації продукції.

Карту рівня розробляють з початку проектування нового виробу і доповнюють на всіх наступних етапах. На етапі завершення технічного проекту КР повинна вмістити відомості щодо технічного рівня і якості продукції, які можуть корегуватися в процесі випробувань і поставлення її на виробництво.

На новорозроблені вироби КР складає організація-розробник конструкторської документації, а на вироби, що знаходяться в серійному або масовому виробництві, - підприємством, яке є держателем оригіналів конструкторської документації. У всіх випадках КР необхідно обов'язково погоджувати з розробником, замовником і головним галузевим підприємством.

У КР обов'язково повинні бути відображені основні показники: призначення, надійності, економічних витрат сировини, матеріалів, палива, енергії і трудових ресурсів, екологічності, стандартизації та уніфікації.

## 1.4 Контроль якості продукції

Процес формування і підтримування якості продукції потребує якісного керування для досягнення вимогових результатів і забезпечення їх стабільності.

У загальному вигляді процес керування можна представити як послідовну комбінацію трьох основних компонентів: планування – реалізація – контроль.

На першому етапі формують певні завдання, на підставі яких очікується досягнення необхідного результату, на другому - здійснюють накреслені плани, на третьому – проводять перевіряння відповідності одержаного результату із запланованим. Усі компоненти процесу керування є однаково важливими і необхідними, проте процес керування не може бути стабільним, якщо інформація, яка одержана під час контролю, не буде поступати каналами зворотного зв'язку на попередні етапи і не буде активно діяти на планування і реалізацію, вносячи в них необхідні корективи для більш повного досягнення окреслених результатів.

**Керування якістю продукції** – це установлення, забезпечення і підтримування необхідного рівня якості продукції під час її розроблення, виробництва і експлуатації або використання, які здійснюють систематичним контролем якості і цілеспрямованою дією на умови і фактори, що впливають на якість продукції.

**Контроль якості продукції** – це перевіряння відповідності показників якості продукції установленим вимогам, які зафіксовані в нормативній документації, наприклад, в стандартах, креслениках, технічних умовах, договорах на поставку, в паспорті виробу тощо.

**Правила контролю** – це установлення послідовності його проведення (регламент, графік).

**Метод контролю** – це сукупність правил використання визначених принципів для проведення контролю: технологія, кількість контрольованих параметрів та точність.

**Об'єкт контролю** – це предмети і засоби праці (устаткування, оснастка, інструмент), процеси створення продукції, умови праці тощо. Об'єкт контролю має відповідні признаки, тобто характеристики, які контролюють.

## 1.5 Класифікація видів контролю

Для визначення показників якості контрольованого об'єкта використовують безліч різних видів контролю, які відрізняються за методами виконання, місцем розташування у виробничому процесі, охоптом контрольованої продукції і іншими признаками.

Види контролю класифікують за такою схемою:

*- залежно від можливості подальшого використання об'єкта, який контролюють:*

1) **руйнівний** – після проведення контролю продукція стає непридатною для подальшого використання за призначенням. Контроль застосовують для визначення показників якості матеріалів (зразків і заготовок), деталей, вузлів і машин в цілому. Наприклад, оцінку механічних властивостей матеріалів здійснюють розтягуванням, стисканням, згинанням, крученням, дією корозійного середовища тощо. Руйнівні методи контролю використовують для визначення показників надійності виробів (наприклад, напрацювання на відмову);

2) **неруйнівний** – контроль здійснюють такими методами, які не впливають на роботоздатність виробу. Після випробовування виріб залишається повною мірою придатним до експлуатації;

*- залежно від об'єму продукції, яку контролюють:*

1) **безперервний** – контроль, після якого ухвалу щодо якості продукції приймають за результатами перевірки кожної одиниці продукції. Такий контроль вилучає можливість попадання до споживача (використовувача) дефектної продукції. Безперервний контроль необхідний тоді, коли подальше використання недоброякісних виробів призводить до великих збитків або до аварії. Функціонально важливі властивості таких виробів, як колінчасті вали, повинні контролюватися в кожному виробі. Проте безперервний контроль неможливий, якщо в процесі перевірки виріб руйнується (наприклад, під час контролю показників надійності виробів);

2) **вибірковий** – рішення щодо якості контрольованої продукції приймають за результатами перевірки (контролю) однієї або декількох виборок із загальної кількості виробів.

**Вибірка** – це визначена нормативним документом кількість одиниць продукції, взята із сукупності виробів, які контролюють.

Вибірковий контроль буде тільки тоді ефективним, коли він базується на підставі методів математичної статистики, яка враховує як статистичну, так і практичну (техніко-економічну) сторони, оскільки його використання не завжди можна вважати доцільним;

*- залежно від мети контролю:*

1) **приймальний контроль** – це контроль готової продукції, за результатами якого приймають рішення щодо її придатності до поставки і використання. Приймальний контроль є важливим підсумковим етапом усього процесу виготовлення продукції. Залежно від повноти охоплення продукції контролем використовують безперервний або вибірковий контроль;

2) **статистичне регулювання технологічних процесів (СРТП)** – це корегування технологічних процесів під час виготовлення

продукції за допомогою вибіркового контролю параметрів виробу, що виготовляється, для технологічного забезпечення необхідного рівня якості і попередження браку.

Статистичне регулювання технологічних процесів використовують після того, як на підставі аналізу точності і стабільності доказано, що технологічний процес є статистично керованим, тобто піддається регулюванню і може забезпечити задані показники якості продукції;

*- залежно від стадії виробничого процесу:*

1) **вхідний контроль** – контроль продукції постачальника, яка надходить до користувача (замовника) і призначена для використання під час виготовлення, ремонту або експлуатації продукції. Його здійснюють для контролю матеріалів, напівфабрикатів і комплектувальних виробів, які надходять на підприємство. Правильна організація вхідного контролю дозволяє позбутися випуску дефектної продукції з причини використання недоброякісної сировини, матеріалів і напівфабрикатів. Крім того вхідний контроль дає можливість зібрати об'єктивну інформацію щодо закупаюваних матеріалів з метою вибору найбільш відповідного постачальника або формування додаткових вимог до показників якості матеріалів. Необхідно зазначити, що часта зміна постачальників взагалі не бажана, оскільки вона негативно впливає на стабільність якості кінцевої продукції;

2) **операційний контроль** – це контроль продукції або процесу під час виконання або після завершення технологічної операції (наприклад, визначення твердості ливарної форми, хімічного складу сплаву перед випусканням його із плавильного агрегату тощо). Його проводять на підставі попередньо розробленої схеми з указанням технологічних операцій, під час або після яких здійснюють операцію технологічного контролю.

На промислових підприємствах операційний контроль передбачають:

а) під час передавання виробів з однієї дільниці на іншу, із цеху в цех тощо;

б) після технологічних операцій, вертання до яких для усунення несвоєчасно виявлених дефектів пов'язане з великими втратами і складністю або практично нездійсненні (наприклад, операції, які передують нанесенню гальванічних покриттів, виготовленню півформ на автоматичних формувальних лініях тощо);

в) після технологічних операцій, під час виконання яких найбільша імовірність появи браку;

г) після операцій, які суттєво впливають на якість продукції, особливо в тих випадках, коли дефекти можуть бути причиною аварії;

*– за характером проведення:*



1) **інспекційний** – вибірковий контроль продукції або технологічного процесу, який здійснюють після операційного або приймального контролю спеціально уповноважені особи, наприклад, члени комісії, склад якої затверджують заздалегідь. Інспекційному контролю також підпадає перевірка роботи служб відділу технічного контролю (ВТК), стану технологічної дисципліни, устаткування, оснастки, різального і вимірювального інструменту. День проведення перевірки заздалегідь не планується і не доводиться до відома виконавців – він призначається начальником ВТК;

2) **летучий** – різновид попереджувального контролю, під час якого контролер періодично обходить закріплені за ним робочі місця, здійснює вибірковий контроль якості декількох останніх виготовлених виробів, перевіряючи при цьому дотримання робочими технологічного процесу і дисципліни. Летучий контроль здійснюють за графіком, складеним начальником ВТК. Результати летучого контролю фіксують у спеціальному журналі і періодично обговорюють. У випадку виявлення браку, дефектів або порушень технологічного процесу контролер зобов'язує робочого, який виконує дану технологічну операцію, провести розбраковування виготовлених до моменту перевірки деталей (вузлів) і попереджає майстра (бригадира) і технолога цеху про необхідність усунення причин браку, дефектів або порушень технології;

*- за рішеннями, які приймають:*

1) **активний контроль** – найбільш прогресивний вид операційного контролю, який здійснюють безпосередньо під час виготовлення продукції. У випадку порушення будь-якої операції технологічного процесу приймають рішення щодо покращання якості продукції, пропонують відповідні заходи, які негайно реалізують мікропроцесорами або ручним способом. Прилади активного контролю, які при цьому використовують, безперервно дають дані щодо контрольованого параметра і слугують як датчики для автоматичного керування процесом виготовлення продукції. Використання активного контролю дає можливість суттєво підвищити продуктивність технологічного устаткування і вилучити вплив суб'єктивних факторів на результати контролю;

2) **пасивний контроль** – тільки фіксують появу дефектів, браку, порушень технологічного процесу виготовлення продукції тощо без подальшої активної дії контролера (наприклад, розбраковування партії виливків зовнішнім оглядом);

*- за засобами контролю та одержання інформації:*

1) **візуальний** – первинна інформація сприймається людським оком. Використовують для виявлення поверхневих дефектів, місць руйнування конструкцій, відхилень форми і розмірів виробу

тощо. Можливість візуального контролю розширюють використанням оптичних приладів;

2) **органолептичний** – первинну інформацію людина сприймає через органи чуття (візуальний контроль – окремий вид органолептичного);

3) **інструментальний** – здійснюють за допомогою різних засобів вимірювання.

Особливим видом контролю якості продукції є випробовування.

**Випробовування** – це експериментальне визначення кількісних і якісних характеристик властивостей продукції під час функціонування, імітації умов експлуатації або відтворювання певних дій на продукцію за заданою програмою.

Під час випробовувань виріб піддають одному або декільком зовнішнім діям, наприклад, вібраційним, тепловим, силовим, хімічним тощо і здійснюють реєстрацію властивостей, які цікавлять дослідника та характеризують якість виробу: твердість, зносостійкість, корозійна стійкість тощо.

Об'єктом досліджень можуть бути матеріали, деталі, вузли машин, машини і технічні системи, які складаються із безлічі машин і приладів. Широко розповсюджені випробовування окремих частин машин, наприклад, редукторів, коробок передач на довговічність, валів на згинання, підшипників на зношування.

Багато видів випробовувань здійснюють за нормативними документами, які установлюють умови випробовувань, режими, форму і розміри зразків, перелік параметрів, що реєструють, тощо.

Сукупність правил використання певних принципів для здійснення випробовувань називають **методом випробовувань**.

Правила, які установлюють об'єм вибірки, послідовність проведення випробовувань і критерії їх припинення, складають план випробовувань.

Вибір режиму є важливим моментом під час планування випробовувань. Режим випробовувань – це сукупність факторів, які визначають механізм і інтенсивність процесів руйнування:

- навантага і напружини;
- швидкість і частота прикладання навантаги;
- умови контактування (наявність, температура, властивості і кількість мастила, вміст і властивості абразивних часточок тощо);
- стан навколишнього середовища (температура, тиск, вологість, агресивність).

Вибір режиму особливо важливий для прискорення випробовувань, оскільки він суттєво відрізняється від режиму нормальної експлуатації виробу, проте обидва режими повинні бути зв'язані як якісно, так і кількісно.

Основним класифікаційним признаком випробувань продукції є їх мета:

- **контрольні випробування** – проводять з використанням натурних зразків і контролюють якість продукції під час виробництва, експлуатації і збереження. До категорії контрольних випробувань відносять, наприклад, попередні і приймальні випробування. Попередні випробування досліджуваних зразків (партій) здійснюють з метою визначення можливості їх пред'явлення на приймальні випробування.

Контрольні випробування досліджуваних зразків (партій), які проводять для вирішення питання щодо доцільності поставлення цієї продукції на виробництво або передавання її в експлуатацію, називають **приймальними** випробуваннями;

- **дослідні випробування** – необхідні для вивчення окремих властивостей продукції. Такими властивостями є механічна міцність, зносостійкість, корозійна стійкість тощо. Дослідні випробування використовують для визначення придатності машин до роботи в умовах, які відрізняються від нормальних. Ці випробування здійснюють як на натурних зразках, так і на макетах (форсований режим випробування).

Дослідні випробування дають змогу визначити:

- фактичні дані щодо показників надійності виробу;
- слабкі ланки виробу або окремих його вузлів;
- види зруйновань, що переважають;
- найбільш характерні види дій на машину;
- кількість необхідних запасних частин і скласти їх перелік.

Одержана під час дослідних випробувань інформація є дуже важливою для освоєння нових виробів або їх модифікування;

- **граничні випробування** – відносять до категорії дослідних, які проводять з метою визначення залежності між допустимими значеннями параметрів продукції і значеннями параметрів в умовах експлуатації. Такі випробування здійснюють для оцінки міцності, допустимих навантаж, швидкостей, потужності тощо.

Особливе місце серед різновидів дослідних випробувань посідають **експлуатаційні випробування** готової продукції. Це зв'язано з тим, що як би ретельно не планувались випробування, в лабораторних умовах практично неможливо відтворити всю різноманітність факторів, які визначають зовнішні дії, умови і режими, що існують у реальних експлуатаційних умовах. Для розробника і виробника одержані під час випробувань відомості дають можливість зробити правильний висновок щодо правильності функціонування, надійності і інших показників якості продукції.

## 1.6. Структура і основні функції відділу технічного контролю на машинобудівному підприємстві

Основні функції щодо здійснення контролю якості продукції на підприємстві покладають на відділ технічного контролю (ВТК).

ВТК є самостійним структурним підрозділом підприємства, який очолює начальник. Він підпорядкований безпосередньо керівнику підприємства. Типова структура ВТК наведена на рис.1.1.

Начальник ВТК несе відповідальність як посадова особа відповідно до закону нарівні з керівником і головним інженером підприємства за випуск недоброякісної, нестандартної і некомплектної продукції.

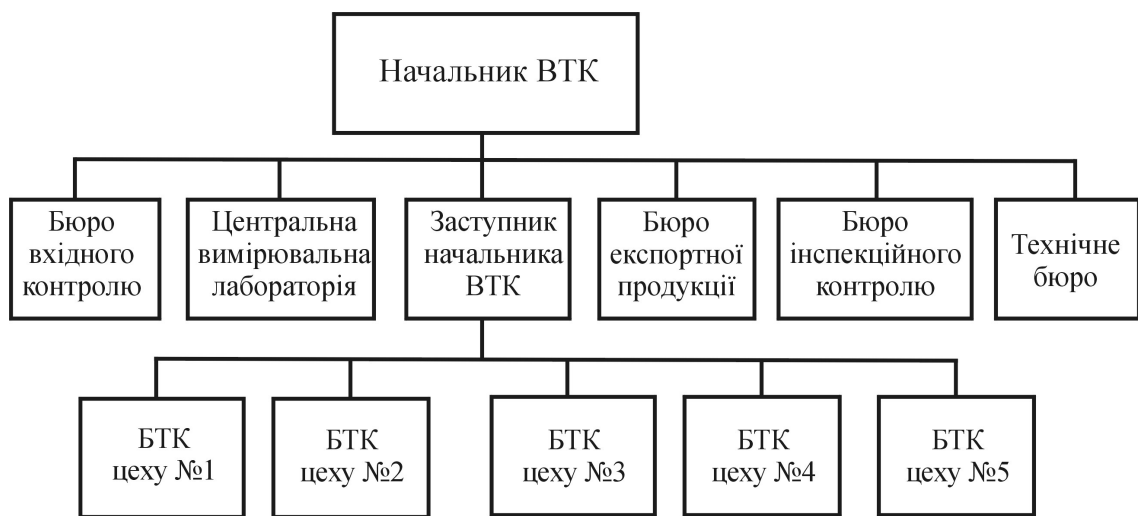


Рис. 1.1. Типова структура ВТК

Основними обов'язками ВТК є:

- здійснення контролю якості продукції, що випускається підприємством, її відповідності стандартам, технічним умовам, еталонам, кресленикам тощо;
- проведення контролю установленної технології на всіх операціях виробничого процесу, а також сировини, матеріалів і комплектувальних виробів, які постачають підприємству;
- участь у перевірках точності технологічних процесів, устаткування на технологічну точність та технологічної дисципліни;
- контроль якості інструменту і оснастки, що виготовляють на підприємстві;
- інспекційний контроль зберігання матеріалів, сировини, напівфабрикатів;
- контроль за комплектністю, консервацією і упакуванням готової продукції;

- контроль за наявністю маркування і товарного знаку на готових виробах;

- аналіз дефектів, які виявлені на різних операціях технологічного процесу виготовлення продукції, в процесі випробовувань і експлуатації (рекламації, листи, акти експлуатаційних спостережень тощо);

- участь у роботі аналізу причин появи браку і розробленні заходів щодо їх усунення;

- контроль за своєчасним виконанням заходів щодо підвищення якості продукції;

- здійснення оцінок якості продукції, яку виготовляють на підприємстві, тощо.

**Бюро вхідного контролю** – діяльність його направлена на здійснення технічного приймання сировини, матеріалів, напівфабрикатів, готових виробів, які надходять на підприємство.

Вхідний контроль здійснює група контролерів, які працюють в системі служби матеріально-технічного забезпечення та відділу кооперації і комплектації.

З урахуванням характеру продукції (матеріали, вироби) вибирають вибірковий або безперервний контроль.

Продукція, яка поступила на підприємство, може бути використана у виробництві тільки після одержання висновку щодо її відповідності вимогам технічної документації.

Об'єм і методика контролю кожного виду продукції визначені відповідними інструкціями або стандартами підприємства.

Правильна організація вхідного контролю забезпечує випуск високоякісної продукції.

**Бюро технічного контролю (БТК)** – створюють у кожному цеху. БТК підпорядковується ВТК. Бюро здійснює контроль якості, комплектності продукції, її приймання, виконання цехами і контрольно-вимірвальними станціями заходів щодо ліквідації браку, а також здійснює інспекційний нагляд за правильністю виконання контролю стану оснастки, інструменту, приладів, які знаходяться в експлуатації, забезпечує контроль за додержуванням технологічної дисципліни і перевіряння якості продукції на робочих місцях під час летучого контролю.

Організаційні форми контролю, які здійснює БТК, різноманітні. В умовах великосерійного і масового виробництва використовують безперервний або періодичний контроль виробів у стаціонарних умовах на спеціально обладнаному контрольному пункті. Такий контроль надзвичайно ефективний, коли хорошо погоджується з ритмом виробничого процесу, а також коли використовують активні форми – повну або часткову автоматизації (наприклад, автоматизацію неруйнівного



контролю, який використовують після закінчення певного технологічного процесу – лиття, штамповки, ковки тощо).

**Технічне бюро** – розглядає рекламації і готує відповідні пропозиції, здійснює аналіз і облік браку, контролює спільно з інспекційною групою ВТК виконання заходів щодо усунення браку, покращання виробничого процесу, підвищення якості продукції, підготовки пропозицій щодо удосконалення організації технічного контролю.

Технічне бюро забезпечує служби ВТК необхідною технічною документацією, розробляє форми звітності і обліку з якості, розробляє і впроваджує інструктивні матеріали щодо контролю якості, проводить облік роботи системи бездефектності праці тощо.

**Центральна вимірювальна лабораторія (ЦВЛ) і контрольно-перевірні пункти (КПП) цехів** – зберігають, вивіряють основні міри і прилади та здійснюють точні вимірювання за їх допомогою.

**Бюро експортної продукції** – здійснює безперервний контроль деталей, вузлів, машин і механізмів, які виготовляють на експорт відповідно до устанавленого переліку. БЕП контролює також стабільність технологічних процесів, які використовують для виготовлення експортної продукції.

**Бюро інспекційного контролю** – здійснює систематичний контроль роботи контролерів і майстрів ВТК.

Для цієї роботи керівництво ВТК і спеціально призначені особи проводять вибірковий контроль якості продукції, яка була прийнята або відхилена контролерами і майстрами ОТК. На підставі одержаних результатів контролю приймають рішення щодо достовірності операційного і приймального контролю, а також щодо якості праці контролерів і майстрів ВТК. Це рішення є основою для морального і матеріального стимулювання працівників ВТК.

Інспекційному контролю піддають найбільш важливі і складні деталі, які передають на збирання, запасні частини і куповані деталі, а також готові вироби. Деталі, вузли і агрегати для інспекційного контролю відбирають такі, що прийняті контролерами.

Інспекційний контроль виконує дві задачі: здійснює оцінку якості роботи контролерів і визначає рівень якості виготовлених виробів.

## 2 ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

### 2.1 Причини, що вимагають покращання якості продукції

Проблема покращання якості продукції мала велике значення в усі часи, але з другої половини ХХ століття вона набула особливого змісту, докорінним чином змінилися і методи її вирішення. Збільшуване значення проблеми якості продукції є наслідком об'єктивного розвитку науки і техніки, умов і методів виробництва продукції.

Основними причинами цього процесу є такі:

- значне зростання складності виробів, що виготовляють на підприємствах машинобудівної галузі, посилення режимів їх роботи (швидкостей, навантаж, температур тощо) і підвищення функціональної відповідальності механізмів. Виробництво найскладніших машин, технологічних комплексів, енергосистем, оборонної техніки, насичених механічними, гідравлічними і електронними пристроями з високим ступенем автоматизації, вимагає принципово нового підходу до забезпечення їх якості;

- ускладнення виробничих процесів, подальше подрібнювання виробничих операцій, впровадження нових технологічних методів, сучасного устаткування, засобів механізації і автоматизації обумовили необхідність розроблення спеціальних методів керування якістю на підприємствах;

- ріст об'ємів виробництва, збільшення програм випуску однорідної продукції вимагають запровадження особливих заходів для забезпечення однаковості основних параметрів у кожному виробі і збереження вимогового рівня якості продукції під час її виготовлення;

- розширення міжнародної торгівлі і техніко-економічного співробітництва між країнами, які зростають часто до міжнародної спеціалізації, ставлять завдання рівняння на світовий рівень якості продукції, що експортується;

- природне підвищення вимог населення до якості товарів, які купуються, обумовлене ростом матеріальних і естетичних потреб, примушує виробників постійно підвищувати якість продукції і не відставати від інтересів споживачів.

Задача ускладнюється ще і тим, що вирішувати зазначені проблеми необхідно комплексно. Чим досконаліше організована координація і взаємозв'язок між окремими ланками проблеми, тим вища технічна, економічна і соціальна ефективність, що досягається після її вирішення. Отже вся робота щодо підвищення якості продукції повинна спиратися на міцну наукову базу, на достатньо усталений теоретичний фундамент і, в першу чергу, на науку про якість продукції, предметом якої є вивчення властивостей продукції, закономірностей їх

формування і підтримування на всіх етапах існування продукції, методів об'єктивної кількісної оцінки цих властивостей і визначення рівня якості всіх видів продукції і, нарешті, вивчення співвідношення властивостей продукції з потребами і можливостями суспільного виробництва.

Характерною особливістю сучасного періоду є тісний зв'язок якості продукції з економією суспільної праці.

Підвищення якості продукції, безумовно, супроводжується додатковими витратами суспільної праці, але використання цієї продукції дає додатковий прибуток споживачу (користувачу) і дає можливість повніше задовольняти потреби населення країни.

## 2.2 Етапи формування якості продукції

Своє існування продукція починає під час складання технічного завдання на проектування. На цьому етапі починає формуватися і якість продукції.

**Технічне завдання** видає проектній організації замовник. У розробленні його приймають участь провідні спеціалісти в галузі виробництва і експлуатації продукції даного типу.

У технічному завданні установлюють основне призначення, технічні характеристики, показники якості і техніко-економічні вимоги, які пред'являють до розроблюваного виробу, етапи виконання конструкторської документації та її склад, а також спеціальні вимоги до виробу.

Проектна організація або виробник здійснює ретельний аналіз технічного завдання і розробляє **технічну пропозицію** – сукупність конструкторських документів, які вмістять декілька різних варіантів можливих рішень виробів, порівняльну оцінку їх з урахуванням конструктивних і експлуатаційних особливостей виробів, які розроблюють і які існують, а також патентні матеріали. Технічна пропозиція після погодження з замовником і затвердження слугує підставою для розроблення ескізного і технічного проекту виробів.

На підставі технічного проекту створюють робочу конструкторську документацію на виріб. На етапі проектування закладають усі основні показники якості майбутнього виробу з урахуванням необхідного оптимального рівня якості і можливостей виробництва.

Доцільно також заздалегідь оцінити і задати виробнику числові значення не тільки показників призначення, а і показників надійності, рівня стандартизації і уніфікації, патентно-правові і інші показники якості.

На етапі виготовлення накреслені під час проектування властивості продукції набувають реального втілення у виробі. І чим точніше і

повніше фактичні показники якості виготовленого виробу співпадають з показниками, зафіксованими в проектно-конструкторській документації, тим досконаліше організоване виробництво.

Проте далеко не всі властивості продукції формуються в процесі її виготовлення. Більшість показників призначення (універсальність, продуктивність, маса і габаритні розміри), показники стандартизації і уніфікації, патентно-правові і технологічні показники, частина ергономічних і естетичних показників (доскональність форми, зусилля на органи керування тощо) не залежать від технологічного процесу.

Навпаки, більшість показників надійності (термін слугування, напрацювання на відмову, імовірність безвідмовної роботи, середній термін збереження), стабільність властивостей виробів, процент дефектних виробів тощо практично повністю залежать від удосконаленості технологічного процесу.

Виготовлення продукції є досить відповідальним етапом формування якості, оскільки цей процес досить багатоопераційний. Фактори, які впливають на якість продукції на цьому етапі розділяють на **об'єктивні і суб'єктивні**.

До об'єктивних відносять:

- технологічну оснащеність виробництва новими сучасними видами технологічного устаткування, інструменту, оснастки тощо;
- стан технічного оснащення та організації служб контролю якості продукції;
- рівень автоматизації і механізації технологічних процесів, окремих операцій та методів контролю якості;
- якість використовуваних матеріалів, напівфабрикатів, комплектувальних виробів тощо;
- рівень стандартизації, уніфікації і типізації технологічних процесів і документації;
- умови праці (вентиляція, освітлення, шум, випромінювання тощо).

До суб'єктивних факторів відносять:

- професійна майстерність робочих і, особливо, керівництва;
- загальноосвітній рівень працівника в поєднанні з професійною майстерністю;
- психологічний склад людини: кращими є робітники із стійким характером;
- особисті прагнення та зацікавленість у результатах роботи.

Отже під якістю виготовлення продукції треба розуміти сукупність властивостей процесу виготовлення продукції, від яких залежать відповідність цього процесу і його результатів установленим вимогам.

На етапі експлуатації або використання продукції проявляються її властивості, які були втілені під час проектування її і виробництва.

Як було зазначено вище, властивості продукції знаходяться залежно від умов, в яких її використовують. Тому основним завданням експлуатаційників є точне виконання всіх умов експлуатації, для яких призначений виріб і які викладені в інструкціях і іншій технічній документації. Це зовнішні умови (правила монтажу, температура і вологість повітря, допустимий рівень зовнішніх вібраційних дій, правила збереження і транспортування), а також умови експлуатації – точне виконання розрахованих режимів роботи машини, використання передбачених мастил, пального, інструменту, виконання установлених термінів і об'ємів профілактичних оглядів і ремонтів.

Отже, факторами, які визначають якість продукції на етапі її експлуатації, є:

- якість експлуатаційної документації;
- загальний рівень експлуатаційного обслуговування, устаткування і пристроїв;
- якість запасних частин, змащувальних матеріалів тощо;
- якість праці осіб, які експлуатують продукцію.

Характерною важливою особливістю експлуатації є те, що на цьому етапі існування виробів у них витрачається ресурс. Тому якраз на цьому етапі проявляються і набувають конкретних числових значень показники надійності кожної одиниці продукції: показники, які характеризують її безвідмовність, довговічність, ремонтнопридатність і збережливість.

Однією із важливих задач контролю якості в процесі експлуатації є систематичне збирання об'єктивної інформації щодо надійності виробів і передавання цієї інформації організованими каналами зворотного зв'язку виробнику.

Експлуатаційна інформація повинна вмістити відомості щодо тривалості роботи виробу до відмови, причин і характеру відмов, фактичного об'єму і трудомісткості технічного обслуговування і ремонтів, потреби запасних частин та характерних умов експлуатації. Інформацію використовують для негайного усунення недоліків виробу, які виявлені під час експлуатації, для підвищення якості нових моделей, планування оптимальних форм і об'ємів обслуговування і ремонтів виробів і для розраховування програми випуску запасних частин.

### **2.3 Стандартизація і якість продукції**

Стандарт (з англійської мови – норма, зразок) є найважливішим засобом, який дає можливість ув'язувати інтереси виробника і користувача (споживача).

До основних задач стандартизації відносять:

- установлення вимог до якості готової продукції на підставі комплексної стандартизації показників якості продукції, сировини, матеріалів, комплектувальних виробів;
- установлення єдиної системи показників якості продукції, методів і засобів її випробовування;
- установлення норм, вимог і методів на етапах створення, виготовлення і експлуатації (використання, споживання) продукції з метою забезпечення оптимальної якості і вилучення нерациональної різноманітності видів, марок і типорозмірів виробів;
- розвиток уніфікації і агрегування виробів як найважливішої умови спеціалізації виробництва, комплексної механізації і автоматизації виробничих процесів та покращання технологічності конструкції;
- установлення єдиних систем документації, класифікації і кодування продукції та техніко-економічної інформації;
- установлення єдиних термінів, позначень і величин у найважливіших галузях науки, техніки і промисловості.

Стандарт поєднує в собі технічний регламент з обов'язковою силою закону. Стандартизація в один і той же час є і технічною діяльністю, направленою на регламентування техніко-економічних, соціальних, економічних та інших вимог до продукції, і юридичною діяльністю, яка закріплює ці вимоги в правовій формі та забезпечує державний контроль за їх дотриманням.

Стандарт, технічні умови, інша нормативна документація є нормативними актами, які розроблюють і затверджують відповідно до норм чинного законодавства.

Стандарти установлюють найбільш доцільні вимоги до рівня продукції, регламентують найважливіші сторони виробничо-технічної діяльності підприємств і організацій, які приймають участь у створенні, виготовленні і експлуатації продукції, установлюють єдині вимоги до сировини, матеріалів, комплектувальних виробів, які постачають підприємства-сумісники для виготовлення кінцевої продукції; до заготовок, деталей, вузлів і кінцевої продукції в цілому; до умов використання (споживання) або експлуатації (використання за призначенням, технічного обслуговування, ремонту, модернізації тощо).

Стандарт розроблюють на підставі досягнення науки, техніки і кращого досвіду. Він повинен передбачати рішення, оптимальні для суспільства. Розроблюють стандарти як на матеріальні предмети (продукцію, еталони, зразки речовин тощо), так і на норми, правила, вимоги до об'єктів організаційно-методичного і загальнотехнічного характеру.

Важливе значення в керуванні якістю продукції має установлення в стандартах випереджальних, перспективних показників. Це дає можливість керівникам підприємств заздалегідь планувати і проводити

заходи, які направлені на підвищення якості продукції машинобудування, на прискорення технічного прогресу.

## **2.4 Система сертифікації продукції УкрСЕПРО**

### **2.4.1 Атестація виробництва**

Послідовність здійснення атестації виробництва визначає нормативний документ – ДСТУ 3414-96 (чинний від 1997.04.01).

Атестацію виробництв у системі здійснює орган з сертифікації продукції, а за його відсутністю – організація, що виконує функції органу з сертифікації продукції, за дорученням Держстандарту України.

Атестацію виробництва здійснюють за ініціативою підприємства, яке виготовляє продукцію, або на вимогу органу з сертифікації продукції.

Атестацію виробництва здійснюють з метою оцінки технічних можливостей підприємства, що виготовляє продукцію, забезпечення стабільного випуску продукції, яка відповідає вимогам нормативних документів, що поширюються на цю продукцію.

Атестація виробництва повинна передбачати визначення кількісної оцінки стабільності відтворення показників продукції.

Підприємство, яке має намір атестувати виробництво продукції в системі, повинне підготувати повний комплект технічної документації на продукцію та її виробництво (конструкторську, технологічну, нормативну).

Загальні вимоги щодо атестації виробництва та організації контролю за виготовленням продукції передбачають:

- призначення підприємством Головного контролера та його заступника. Заступник виконує обов'язки Головного контролера в разі його відсутності;

- пред'явлення виготовленої продукції на сертифікацію санкціонується виключно Головним контролером або його заступником (за відсутністю Головного контролера);

- головний контролер повинен бути незалежним від керівництва підприємства, яке безпосередньо відповідає за якість виготовленої продукції.

Наказом по підприємству Головному контролеру надають такі права:

- вимагати усунення відхилень від установлених вимог до пред'явлення виготовленої продукції на сертифікацію;

- вимагати внесення змін у технічну документацію та угоди на постачання продукції відповідно до вимог органу з сертифікації продукції;

- скасовувати подання на сертифікацію виготовленої продукції, яка не відповідає вимогам або на яку не поширюються вимоги програми сертифікації;

- застосовувати на підприємстві останні документи органу з сертифікації продукції, які установлюють вимоги до продукції, що сертифікується;

- визначати відповідність продукції, яка сертифікується, встановленим вимогам до часу відвантаження цієї продукції.

Головний контролер здійснює такі основні функції:

- підтримує зв'язок з органом, який здійснює технічний нагляд;

- несе персональну відповідальність за якість продукції, що постачається з сертифікатом відповідності;

- забезпечує реєстрацію результатів контролю, вимірювань та випробувань продукції, що сертифікується, які проведені підприємством, та передає їх у розпорядження органу, що здійснює технічний нагляд;

- несе відповідальність за обґрунтованість використання знака або сертифіката відповідності під час постачання партії продукції;

- затверджує протоколи випробувань виготовлених партій сертифікованої продукції;

- несе відповідальність за проведення повного контролю під час постачання сертифікованої продукції з затримкою.

Головний контролер підзвітний вищому рівню керівництва підприємства.

Для випробувань продукції, яка сертифікується, або її частини, через інтервали часу, що установлює орган з сертифікації, приймаються зразки (вибірки), які відбирають від виробничих партій, які вже витримали випробування, передбачені для виробничих партій.

Результати випробувань оформляють сертифікаційним протоколом. Крім результатів випробувань у ньому додатково показують:

- назву підприємства – виробника;

- позначення та назву нормативного документа на продукцію;

- назву та позначення продукції;

- дату, що визначає період часу, який охоплюється протоколом випробувань випущених партій продукції;

- позначення кожного випробування;

- заяву щодо точних відомостей у протоколі, засвідчену Головним контролером.

#### **2.4.2. Послідовність проведення атестації виробництва**

Атестацію виробництва здійснюють у такій послідовності:



- **подання заявки на атестацію** (якщо атестацію виробництва здійснюють з ініціативи виробника) за спеціальною формою;

- **попередня оцінка** – виконує комісія експертів органу з сертифікації продукції у визначений термін. Склад комісії затверджує керівник органу з сертифікації продукції. Попередня оцінка передбачає:

1) експертизу вихідних матеріалів, представлених підприємством;

2) складання висновку щодо готовності підприємства до проведення атестації виробництва.

Експертиза вихідних матеріалів передбачає:

а) перевірку відповідності показників та характеристик продукції вимогам нормативної документації, що поширюється на продукцію та технологічні процеси її виготовлення;

б) оцінку достатності контрольних операцій та випробувань, передбачених технологічною документацією для забезпечення випуску якісної продукції;

в) перевірку відповідності переліку показників технічних можливостей виробництва, що атестується, переліку показників та характеристик продукції, яка випускається;

г) оцінку повноти програми випробувань для підтвердження технічних можливостей виробництва, що атестується;

д) оцінку вірності вибору головних етапів технологічного процесу;

е) оцінку прийнятності методик випробувань для підтвердження технічних можливостей виробництва;

ж) перевірку відповідності системи контролю якості виготовлення під час протікання технологічного процесу, враховуючи і контроль матеріалів та комплектувальних виробів;

з) перевірку наявності системи метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки, які використовують, засобів контролю та випробувань;

и) перевірку відповідності показників точності засобів вимірювальної техніки, методик вимірювань та контролю, що застосовують, вимогам конструкторської і технологічної документації;

- **складання програми та методики атестації:**

1) програму та методику атестації розробляє комісія експертів, яка здійснювала попередню оцінку, і затверджує керівник органу з сертифікації продукції;

2) програма та методика атестації повинні передбачати об'єкти перевіряння, процедури перевіряння та правила приймання рішень;

- **перевіряння виробництва та атестація його технічних можливостей:**

1) основною задачею перевіряння виробництва є оцінка відповідності інформації, яка викладена у вихідних матеріалах, фактичному стану безпосередньо на підприємстві, а також проведення необхідних випробовувань для атестації технічних можливостей виробництва;

2) перевіряння здійснює комісія експертів у відповідності з затвердженою програмою та методикою атестації;

3) за результатами перевіряння протягом місяця комісія складає звіт, який містить аналіз результатів виконаної роботи та обґрунтовані висновки;

4) звіт підписують усі члени комісії. Його затверджує керівник органу з сертифікації;

5) на підставі позитивних висновків комісії орган з сертифікації оформлює **атестат виробництва** за затвердженою формою, реєструє його в Реєстрі Системи і видає підприємству;

6) термін дії атестата встановлює орган з сертифікації залежно від результатів перевіряння, але не більше, як **два роки**;

**- технічний нагляд за атестованим виробництвом:**

1) нагляд здійснюють представники органу з сертифікації протягом усього терміну дії атестата виробництва. Основним завданням є нагляд за стабільністю якості виготовленої продукції;

2) за результатами технічного нагляду орган з сертифікації може спинити або призупинити дію атестата виробництва.

Подовження терміну дії атестата орган з сертифікації здійснює тоді, коли підприємство – виробник не пізніше, ніж за три місяці до завершення дії атестата направляє в орган з сертифікації відповідні матеріали (заявку).

Дію атестата призупиняють або зупиняють у таких випадках:

- коли виявлена невідповідність виготовленої продукції необхідному рівню якості виготовлення, що вимагається;

- коли в конструкцію або технологію виготовлення без погодження з органом з сертифікації внесені зміни, які можуть призвести до зниження рівня якості виготовлення продукції;

коли термін дії атестата завершився, а підприємство не надіслало в орган з сертифікації матеріали для його подовження;

- коли під час виконання технічного нагляду виявлені невідповідності виробництва атестованим технічним можливостям.

### **2.4.3 Послідовність проведення сертифікації продукції**

Послідовність здійснення сертифікації продукції визначає нормативний документ – ДСТУ 3413-96 (чинний від 1997-04-01).

Сертифікацію продукції здійснюють органи з сертифікації продукції, а в разі їх відсутності – організації за дорученням Держстандарту України за такою схемою:

- подання та розгляд заявки на сертифікацію продукції;
- аналіз наданої документації;
- прийняття рішення відносно заявки з указуванням схеми (моделі) сертифікації;
- обстеження виробництва;
- атестація виробництва продукції, що сертифікується, або сертифікація системи якості, якщо це передбачено схемою;
- відбирання, ідентифікація зразків продукції та їх випробування;
- аналіз одержаних результатів та прийняття рішення щодо можливості видачі **сертифіката відповідності** і надання ліцензій;
- визнання сертифіката відповідності, який виданий закордонним або міжнародним органом;
- технічний нагляд за сертифікованою продукцією під час її виробництва;
- збирання інформації щодо результатів робіт з сертифікації.

Схеми (моделі), які використовують під час обов'язкової сертифікації продукції, визначає орган з сертифікації.

Особливості проведення робіт з сертифікації:

- кількість зразків для випробувань установлює орган з сертифікації;
- випробування зразків здійснюють у лабораторіях, яким надано право проведення такого виду випробувань;
- за умови позитивних результатів випробувань складають протокол і направляють органу з сертифікації продукції, а копію - заявнику;
- повторні випробування такої ж продукції можуть бути проведені тільки після подання нової заявки.

Зразки продукції, які піддавали випробуванням, у тому числі і руйнівними методами, залишаються власністю заявника.

Сертифікат відповідності видає тільки орган з сертифікації продукції.

Сертифікат видається на одиничні вироби, на партію продукції або на продукцію, яку виготовляють серійно протягом терміну, який установлений ліцензійною угодою.

Сертифікат відповідності реєструють у Реєстрі Системи та видають замовнику. Термін дії сертифіката на продукцію визначає орган з сертифікації продукції, але він повинен не перевищувати більше двох років. Установлений для ліцензії термін не подовжується.

Технічний нагляд за стабільністю показників сертифікованої продукції під час її виробництва здійснює орган, який видав сертифікат відповідності.

Дію сертифіката відповідності або ліцензії зупиняють або анулюють у таких випадках:

- коли порушені вимоги, які пред'являлись до продукції під час обов'язкової сертифікації;

- коли порушені вимоги технології виготовлення, правил приймання, методів контролю, випробовувань тощо;

- коли змінені конструкція (склад), комплектність або технологія виготовлення продукції без попереднього погодження з органом з сертифікації продукції;

- коли змінені нормативні документи на продукцію або на методи її випробовувань без попереднього погодження з органом з сертифікації продукції.

Дія сертифіката відповідності припиняється з моменту вилучення його з Реєстру Системи згідно ДСТУ 3413-96.

Повністю вимоги державної системи стандартизації УкрСЕПРО викладені в ДСТУ 3410-96...3420-96.

#### **2.4.4 Системи управління якістю (ДСТУ ISO 9001-2001)**

ISO (Міжнародна організація з стандартизації) – це всесвітня федерація національних органів стандартизації (комітетів – членів ISO).

Стандарт містить вимоги до системи управління якістю, спрямовані на забезпечення якості і підвищення задоволеності споживача.

Вимоги стандарту загальні і призначені для застосування всіма організаціями, незалежно від їхнього типу, розміру та продукції, яку постачають.

Організація повинна встановити, задокументувати, впровадити та підтримувати систему управління якістю і постійно покращувати її результативність відповідно до вимог цього державного стандарту.

Організація повинна:

- визначити процеси, необхідні для системи управління якістю, та їхнє застосування на всіх рівнях в організації;

- визначити послідовність та взаємодію цих процесів;

- визначити критерії та методи, необхідні для забезпечення результативності функціонування цих процесів та управління ними;

- забезпечувати наявність ресурсів та інформації, необхідних для підтримування функціонування та моніторингу цих процесів;

- здійснювати моніторинг, вимірювання та аналізування цих процесів;

– вживати заходи, необхідні для досягнення запланованих результатів та постійного покращання цих процесів.

Якщо для будь-якого процесу, що впливає на відповідність продукції вимогам, організація вибирає стороннього виконавця, вона повинна забезпечувати контроль за такими процесами, який повинен бути встановлений у системі управління якістю.

Стандарт установлює:

- вимоги до документації та правила управління нею;
- відповідальність керівництва (орієнтація на замовника, політика в сфері якості, планування системи управління якістю, аналіз вхідних та вихідних даних щодо якості тощо);
- правила управління ресурсами, в тому числі людськими (компетентність, обізнаність, кваліфікація, досвід тощо);
- доцільність випуску продукції (планування випуску продукції, виробниче середовище, визначення вимог щодо продукції, аналізування цих вимог, зв'язок із замовниками, проектування та розроблення продукції, аналізування та перевіряння проекту, виробництво і надання послуг, управління засобами моніторингу та вимірювальної техніки);
- вимірювання, аналізування та покращання якості (моніторинг та вимірювання процесів і продукції, управління невідповідною продукцією, аналізування даних щодо задоволеності замовника, відповідності вимогам до продукції, покращання результативності системи управління якістю тощо).

Організація повинна визначати дії, які дають змогу усувати причини потенційних невідповідностей з метою запобігання їхньому виникненню. Запобіжні дії необхідно визначати відповідно до наслідків потенційних проблем. Для цього розроблюють і задокументовують методики з метою встановлення вимог до:

- визначення потенційних невідповідностей та їхніх причин;
- оцінювання потреби в діях для запобігання виникненню невідповідностей;
- визначення та виконання необхідних дій;
- реєстрування результатів виконаних дій;
- аналізування виконаних запобіжних дій.

Отже стандарт установлює вимоги і до системи управління якістю, якщо організація повинна довести свою здатність систематично надавати продукцію, яка задовольняє вимоги замовника та застосовані регламентовані вимоги, і зорієнтована на підвищення задоволеності замовника через результативне застосування системи, у тому числі процесів для постійного покращання системи, а також забезпечення відповідності вимогам замовника та застосовуваним регламентованим вимогам.



## 3 ДЕФЕКТИ, ПРИЧИНИ ЇХ ПОЯВИ І КЛАСИФІКАЦІЯ

### 3.1 Загальна характеристика дефектів

Аналіз і узагальнення причин передчасної появи відмов машин і механізмів показують, що їх надійність і довговічність можна підвищити через своєчасне виявлення і попередження появи дефектів, які виникають як під час виготовлення деталей, так і під час їх експлуатації.

**Дефектом** називають кожен окрему невідповідність продукції вимогам, установленим нормативними документами.

Виріб має дефект, якщо хоча б один із показників його якості або параметрів відрізняється від допустимих значень або не виконується одна із вимог нормативної документації до ознак продукції.

Термін „**дефект**” використовують під час контролю якості продукції на стадії її виготовлення або під час ремонту машини.

Необхідно розрізняти терміни „**дефект**” і „**відмова**”.

**Відмова** – це подія, яка полягає в порушенні працездатності об’єкта. Вона може виникнути в результаті наявності у виробі одного або декількох дефектів, але не завжди поява дефекту означає, що виникла відмова, тобто виріб став непрацездатним.

Розрізняють явні і приховані дефекти.

**Явним** вважають такий дефект, для виявлення якого в нормативній документації передбачені відповідні правила, методи і засоби.

Багато явних дефектів можна виявити зовнішнім оглядом виробу. Якщо виявити дефект візуально неможливо, тоді в нормативній документації передбачають перевіряння наявності або відсутності його спеціальними засобами – приладом, інструментом або розбиранням виробу, який контролюють. Такий дефект також відносять до категорії явних.

**Прихованим** називають такий дефект, щодо якого в нормативній документації не передбачені необхідні правила, методи і засоби його виявлення. Приховані дефекти виявляють, переважно, уже після надходження продукції до користувача або під час додаткових, раніше не передбачених, перевірок.

Під час розроблення нормативної документації і вибору методів контролю продукції, яку виготовляють або ремонтують, дефекти розділяють на **критичні, значні і малозначні**. Такий розподіл ґрунтується, перш за все, на визначенні ступеня впливу кожного дефекту на ефективність і безпеку використання продукції за призначенням.

Наявність **критичного дефекту** унеможливорює використання продукції за призначенням перш за все, виходячи із вимог безпеки.

З метою виявлення критичних дефектів контроль повинен бути безперервним, а в деяких випадках і неодноразовим.

**Значний дефект** суттєво впливає на використання продукції за призначенням і на її довговічність, але не є критичним. В окремих випадках для виявлення значного дефекту використовують вибіркового контроль.

Якщо дефект не справляє суттєвого впливу на використання продукції за призначенням і на її довговічність, то його відносять до категорії **малозначних**. Для його виявлення використовують, переважно, вибіркового контроль. Наявність на поверхні малонавантажуваних деталей рисок, сколів тощо кваліфікують як малозначний дефект.

Дефекти в деталях машин розділяють також на **поправні** і **непоправні**. Зараховування дефекту до тієї або іншої категорії визначається технічними можливостями і економічною доцільністю його усунення.

Залежно від етапу виникнення дефекти розділяють на такі групи: конструктивні, виробничі і експлуатаційні.

**Конструктивні дефекти** характеризуються невідповідністю вимогам технічного завдання або установленим правилам розроблення (модернізації) продукції. Ці дефекти є наслідком помилок під час конструювання, наприклад, неправильний вибір матеріалів для виробів тощо. Своєчасна експертиза, аналіз конструкторських рішень, які приймаються, дозволяють усунути ці дефекти.

**Виробничі дефекти** – це результат невідповідності вимогам нормативної документації на виготовлення або постачання продукції. Виникнення виробничих дефектів обумовлюється порушеннями технологічного процесу виготовлення або поновлення деталей, вузлів і машин у цілому, а також неправильним призначенням умов і режимів технологічного процесу.

Основними причинами появи виробничих дефектів є:

- порушення меж допусків і посадок;
- порушення режимів оброблення;
- неправильний вибір матеріалу для деталі;
- неправильне регулювання технологічних процесів і окремих операцій контрольно-вимірювальними приладами;
- порушення режимів плавлення і лиття;
- порушення режимів термічного і хіміко-термічного оброблення деталей;
- порушення режимів з'єднання матеріалів: зварювання, паєння, клепаєння тощо.

Для ливарного виробництва виробничими є **дефекти плавлення та лиття**: неправильне розраховування шихти – змінює хімічний склад сплаву і призводить до зміни механічних і спеціальних властивостей



металу; недосконала технологія – збільшує кількість і розміри усадкових раковин, ліквациї, тріщин і інших дефектів ливарного походження.

Дефекти термічного і хіміко-термічного оброблення виникають через порушення режимів: температури, часу витримання, швидкості нагрівання і охолодження деталі тощо. Такі порушення призводять до появи термічних тріщин внаслідок накопичення термічних напружин від перепаду температур по перерізу, до знеуглецьовування або науглецьовування поверхні виробу і до утворення тріщин, окрихчування поверхневих шарів матеріалу тощо.

На працездатність виробів суттєво впливає механічне оброблення, яке надає деталі остаточні форму і властивості.

Оброблення металу різанням супроводжується складними фізичними процесами: пластичною деформацією, наклепом, нагріванням поверхневого шару тощо. Внаслідок цих процесів поверхневий шар має своєрідні фізичні властивості, які змінюються залежно від методу оброблення і його режимів.

**Експлуатаційні дефекти** – це дефекти деталей, вузлів, агрегатів і машин, які виникають внаслідок зношування, корозії, втоми матеріалів тощо, а також неправильного технічного обслуговування або експлуатації.

Частіше виникають дефекти внаслідок зношування – процесу поступової зміни розмірів виробу під час тертя, що призводить до зміни робочих параметрів окремих деталей і зниження їх надійності. Характер і швидкість зношування визначаються конструктивними особливостями виробів, матеріалами, із яких вони виготовлені, технологією виробництва, а також навантагами в процесі роботи і умовами експлуатації.

Корозія металів, яка здійснюється внаслідок їх хімічної або електромеханічної дії з навколишнім середовищем, призводить до значних дефектів. Процес корозії здійснюється в різних умовах, а тому характер корозійних руйнувань визначається як зовнішнім середовищем (вологістю, температурою, швидкістю руху, агресивністю), так і станом та властивостями матеріалу.

Оскільки багато виробів працюють в умовах несприятливого зовнішнього середовища, то часто виникають дефекти від спільної дії процесів корозії і зношування, тобто **корозійне зношування** – процес у декілька разів інтенсивніший, ніж окремі корозія і зношування, а отже, і більш небезпечний.

Значна кількість експлуатаційних дефектів виникає внаслідок утомних процесів.

**Утома матеріалу** – це зміна механічних і фізичних властивостей матеріалу внаслідок дії напружин і деформацій, які циклічно змінюються в часі. Таке явище призводить до суттєвого зменшення

довговічності деталі через утворення тріщин і руйнування матеріалу. Опір утомі характеризує **межа витривалості** – найбільші напружини, які може витримати матеріал без руйнування протягом заданої кількості циклічних дій. На опір утомі деталей справляють вплив різні фактори: концентратори напружин (деформацій) та їх розподіл у виробі, розмір і форма деталей, вид деформації, режими навантажування, температурні умови, металургійні фактори, величина і знак залишкових напружин, стан поверхні тощо.

Неправильне і недбале технічне обслуговування, несвоєчасне і недоброякісне виконання регламентних робіт, а також порушення правил експлуатації машин призводить до появи серйозних дефектів та відмов машин. Перевантажування окремих елементів призводить до деформації, підвищеного зносу деталей машин тощо.

Виявлення, вивчення і усунення дефектів, які виникають під час виготовлення, а потім і під час експлуатації машин, неможливі без цілеспрямованого впровадження методів контролю. Контроль необхідно здійснювати як під час виробництва, так і під час експлуатації.

### **3.2 Класифікація дефектів виливків**

Для успішного проведення заходів, які направлені на зниження браку, важливо вміти правильно розпізнати дефекти виливків та установити причини їх утворення. Без цієї роботи заходи, які здійснюються, не дадуть позитивного результату.

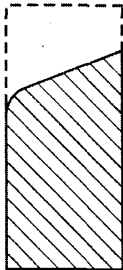
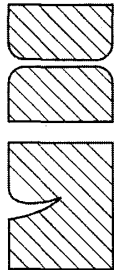
Класифікація дефектів чавунних і сталевих виливків, яка регламентована нормативними документами, наведена в табл.3.1.

### **3.3 Приклади реальних виливків з дефектами**

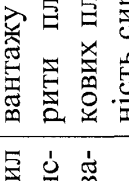
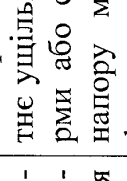
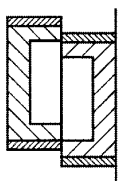
На якість виливка впливає безліч фізичних факторів (за підрахунками спеціалістів – біля 1200), які виникають внаслідок особливостей формувальних і шихтових матеріалів, рідкого металу, його температури, формувальних і стрижневих сумішей, ливарної форми, неправильної конструкції литої деталі тощо.

Для того, щоб правильно управляти ливарними процесами і своєчасно попереджувати появу тих або інших дефектів, технологу-ливарнику необхідно знати, які фактори в кожний конкретний час переважають над іншими і призводять до різких змін якості виливків, сприяючи утворенню того або іншого виду браку. Якщо причини появи дефектів установлені, тоді легко запропонувати заходи щодо їх усунення, а отже, підвищити якість виливків і вихід придатного литва.

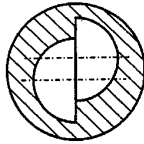
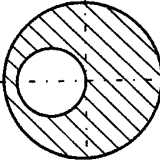
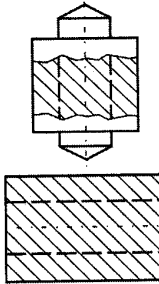
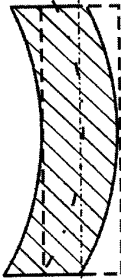
Таблиця 3.1.1. Класифікація дефектів чавунних і сталевих виливків

Інд. дефекту	Термін дефекту	Ескіз дефекту	Визначення	Можливі причини утворення дефекту	Деякі заходи щодо попередження дефекту
1	2	3	4	5	6
<b>1 Невідповідність геометрії</b>					
1.1	Недолив Нд Стек		Порушення конфігурації вилівка внаслідок неповного заповнення порожнини ливарної форми рідким металом	Виливок має малу товщину стінок; недостатня рідкотекучість металу; недостатня температура металу перед заливанням його у форму; неправильно розрахована або розташована ливарна система	Змінити конструкцію деталі під час її освоєння; підвищити температуру металу до оптимальної: для сірого чавуну не нижче 1300°C; для вуглецевих сталей – від 1550°C для низьковуглецевих до 1500°C – для середньовуглецевих; змінити мірне підведення металу у форму
1.2	Незлитина Нд Неспай		Довільної форми отвір або наскрізна щілина у стінці вилівка, які утворюються внаслідок незлиття потоків металу в ливарній формі	Низька рідкотекучість металу під час заливання форми; неправильно вибрано місце підведення металу у порожнину ливарної форми; сплав схильний до плівкоутворення	Забезпечити довжину спіралі Кері для чавуну – не менше 600 мм, для вуглецевих сталей – не менше 450 мм, для легованих – не менше 350 мм; змінити місце підведення металу для зниження плівкоутворення; температуру металу підвищити на 80...100°C

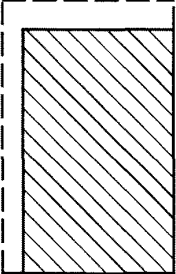
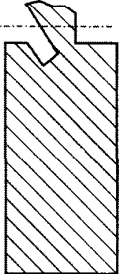
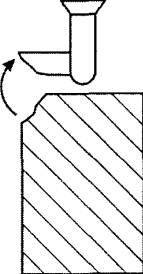
Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6
1.3	Обтиск Нд Видавлювання форми		Порушення конфігурації вилівка, що виникає внаслідок деформації форми через механічну дію до або під час заливання її металом	Недотримання правил виконання операцій транспортування, збирання та заливання форми	Установлювати форму на рівне місце, зменшити масу вантажу для форми; перевірити площинність підповерхових плит; підвищити міцність сирих форм; не транспортувати форми у зібраному вигляді
1.4	Подутість Нд Роздуття		Місцеве потовщення вилівка внаслідок розширення піщаної форми або стискання стрижня металом під час заливання ним форми	Нерівномірне та недостатнє ущільнення піщаної форми або стрижня: під дією напору металу порожнина форми розширюється, а стрижень – стискається	Підвищити міцність форми і стрижня (збільшити кількість глини і ступінь ущільнення до 1,65 г/см <sup>3</sup> ); забезпечити рівномірність ущільнення; зменшити висоту стояка; використовувати ківші з носком
1.5	Перекіс Нд Зсув		Зміщення однієї частини вилівка відносно другої по розніму форми	Порушення центрування або фіксації половинок форми (під час ручного формування); неправильне розташування частин моделі на модельних плитах; порушення технології збирання форми	Проконтролювати правильність центрування і фіксації моделі на плитах; перевірити знос штирів і втулок та технологію збирання форми; забезпечити надійне скріплення півформ

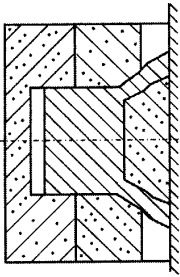
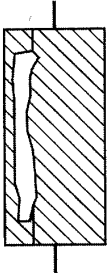
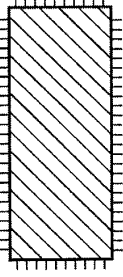
Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6
1.6	Стрижневий перекіс Нд Стрижневий зсув		Зміщення отвору, порожнини або частини виливка, які формуються стрижнями	Перекіс стрижнів під час проставлення їх у форму або перекидання форми; порушено центрування по ливинку стрижневого ящика	Дотримуватися технології збирання форм; контролювати шаблонами правильність проставлення стрижнів у форму; контролювати співвідношення стрижневих ящиків
1.7	Різностінність Нд Зміщення стрижня		Збільшення товщини стінки виливка з одночасним зменшенням іншої	Зміщення, деформація або спливання погано зафіксованого або закріпленого стрижня	Вибрати фіксатори, які б забезпечували надійне фіксування і закріплення стрижнів у формі; контролювати операцію проставлення стрижнів у форму
1.8	Стрижневий залив Нд Непроставлений стрижень		Залиті металом передбачені креслеником і технологією отвори або порожнини у виливку	Не проставлені в ливарну форму стрижні під час її збирання або руйнування стрижнів під дією напору металу	Уважно здійснювати операцію проставлення стрижнів у форму та контролювати положення стрижня у формі; підвищити міцність стрижнів
1.9	Жолоблення Нд Прогин		Спотворення конфігурації виливка під дією ливарних напружень або з інших причин	Невдала конструкція ливарної деталі; не дотримання режиму охолодження виливка; використання деформованої моделі або її деформація під час формування	Підвищити міцність моделі; надійно зберігати модельну оснастку; змінити конфігурацію литої деталі; передбачити несправжні ребра у виливку; визначити швидкість охолодження виливка

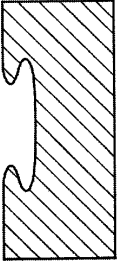
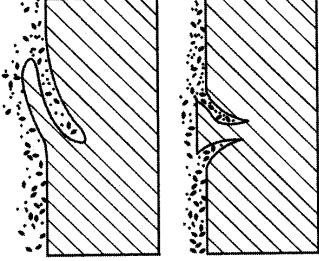
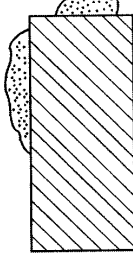
Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6
1.10	Незалит Нд Нечіт- кість кон- туру		Невідповідність геометрії виливка кресленнику внаслідок зносу моделі або стрижневого ящика тощо	Недостатній контроль за станом модельних комплексів – моделей і стрижневих ящиків – під час їх експлуатації; неправильно визначення на усадку сплаву для конкретної деталі	Періодично здійснювати контроль розмірів моделей і робочих порожнин стрижневих ящиків; визначити правильно усадку сплаву залежно від конфігурації литої деталі
1.11	Заріз Нд Заруб		Спотворення контуру виливка під час відокремлення елементів ливникової системи, обрубання та зачищення виливка	Порушення режиму роботи устаткування для відокремлення від виливка елементів ливникової системи; не дотримання технологій фінішних операцій	Контроль справності устаткування та пристроїв, які використовують під час виконання фінішних операцій; дотримуватися технологічної дисципліни відокремлення елементів ливникової системи
1.12	Вилом Нд Вибойна Відкол		Порушення конфігурації та розмірів виливка під час його вибивання, обрубання, очищення і транспортування	Недотримання технологій фінішних операцій та транспортування; невірний вибір розмірів перерізу живильників та місця їх розташування	Дотримуватися технології відокремлення живильників ударною дією; висота живильника не повинна перевищувати 2/3 товщини стінки виливка

Продовження табл.3.1

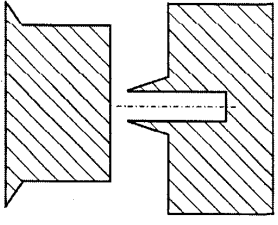

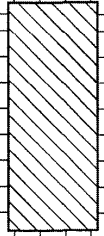
1	2	3	4	5	6
1.13	Прорив металу Нд Прорив форми		Незавершена або неправильна геометрія виливка, які виникають під час заливання металу у ливарну форму	Недостатня міцність ливарної форми, порушення технології формоутворення, наявність порожнин між котрладом форми і платформною візкою ливарного конвейєра	Підвищити міцність ливарної форми додаванням у суміш зв'язувальних компонентів та збільшенням ступеню її ущільнення, не допускати зазора між котрладом і платформною візкою ливарного конвейєра
1.14	Вихід металу Нд Підняття півформи		Порожнини у тілі виливка, які обмежені тонкою кіркою металу, що утворилися внаслідок витікання металу по розніму форми	Недостатньо надійна технологія скріплення півформ або відсутність вантажу на формі; надмірно високий статичний або динамічний напір металу у формі	Не допускати однобічного скріплення півформ перед заливанням металу; використовувати оптимальний вантаж для форм; для заливання форм краще використовувати ківш з носиком
<b>2 Дефекти поверхні</b>					
2.1	Пригар Нд Металізація		Важковідокремлюваний специфічний шар на поверхні виливка, який утворюється внаслідок фізичної і хімічної взаємодії формувального матеріалу з металом та його оксидами	Висока температура металу під час заливання форми; недостатнє ущільнення формувальної суміші; використання крупнозернинного наповнювача суміші; відсутність протиригарного покриття на робочій поверхні форми або стрижня	Визначити та використовувати оптимальну температуру металу; ущільнення форми – не менше 1,65 г/см <sup>3</sup> ; замінити пісок на меншу фракцію – оптимальною є 02; використовувати високотемпературні і термостійкі протиригарні покриття

Продовження табл.3.1

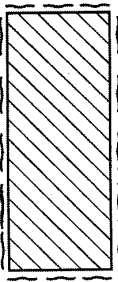
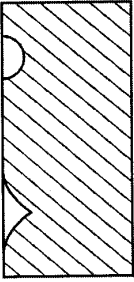
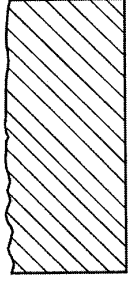

1	2	3	4	5	6
2.2	Слай Нд Неслай		Заглибина з заокругленими окрайками на верхній вилівка, що утворилася внаслідок декількох потоків металу, які не злилися в одне ціле	Недостатня температура металу перед заливанням його у форму; переривання струменя металу під час заливання форми; використання сплаву з високою здатністю до плівкоутворення	Визначити оптимальну температуру для конкретних металів і вилівка; змінити місце підведення металу у порожнину форми; не допускати переривання струменя металу під час заливання форми
2.3	Ужимина Нд Розривина		Заглибина у тілі вилівка з пологіми окрайками, яка заповнена формувальною сумішшю і прикрита шаром металу	Відшарування формувальної суміші від робочої поверхні форми під час заливання через підвищену ущільненість суміші, внаслідок чого форма стає не спроможною сприймати теплове розширення кварцу без порушення цілісності поверхні	Підвищувати швидкість заповнення форми для зменшення інтенсивності теплової дії металу на поверхню форми; не допускати горизонтального розташування великих площин форми; не допускати надмірного ущільнення суміші в ливарній формі
2.4	Наріст Нд Розмив		Виступ довільної форми, який утворився на верхній вилівка із забрудненого формувальними матеріалами металу	Руйнування форми внаслідок недостатнього збирання, недостатнє ущільнення формувальної суміші; недостатня міцність форми внаслідок порушення рецептури суміші і технології формоутворення	Підвищити міцність ливарної форми ущільненнями та вибором відповідної рецептури суміші; дотримуватися оптимального виконання операцій виготовлення форми, її збирання і заливання розплавом



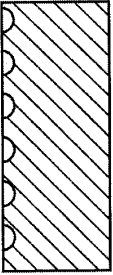
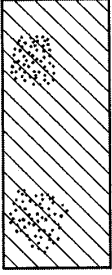
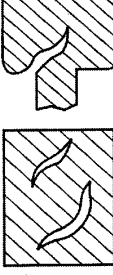
Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6
2.5	Залив Нд Облой		Металевий виступ на виливці, який виникає внаслідок проникнення рідкого металу у зазори по рознімі форм, стрижня або стрижневих знаків	Лад півформи або обох півформ розташований нижче металеві крайки опок;недостатнє скріплення півформ після збирання форм і відсутність необхідного вантажу на формі, збільшені зазори стрижневих знаків	Лад форми повинен бути точно на рівні крайок опок чи або виступати на 0,5...1,0 мм; контролювати скріплення півформ або вантаження форми; зазори стрижневих знаків вибирати за таблицями ГОСТ 3212-92.
2.6	Плівка Нд Заворот		Самостійний металевий або оксидний шар на поверхні виливка, який утворився внаслідок підвищеної швидкості заливання форми рідким металом	Неправильно розрахована ливникова система; стопорний отвір заливального ковша має більший розмір, ніж передбачено правилами розраховування ливникової системи	Перевірити перерізи чинних елементів ливникової системи; змінити місце підведення металу у ливарну форму; визначити оптимальну швидкість піднімання металу у порожнині ливарної форми
2.7	Просік Нд Задирка Рубці		Невисокі прожилки на поверхні виливка, які виникають внаслідок затікання металу в тріщини, які розташовані на поверхні форми (у тому числі і металевій) або стрижня	Порушена технологія сушіння форм і стрижнів; не здійснене фарбування робочих поверхонь форм і стрижнів протипригарними фарбами; для металевих форм – наявність сітки розпазу на робочій поверхні	Оптимізувати режими сушіння форм і стрижнів: швидкість нагрівання, температура робочого простору сушарки, час витримування тощо; наносити протипригарні покриття на гарячі (50...60°C) поверхні форм і стрижнів

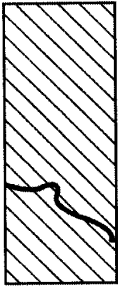
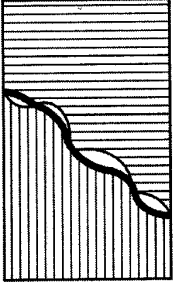
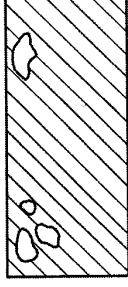
Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6
2.8	Окиснення Нд Перепад		Окиснений шар металу на поверхні виливка після відпалу (частіше під час відпалу виливків із білого чавуну на ковкий)	Температура відпалу вища, ніж передбачена технологічним процесом; відсутність відновлювальної або нейтральної атмосфери в печі	Контролювати температуру робочого простору печі в декількох місцях; дотримувати відповідної атмосфери в печі; визначити оптимальну температуру відпалу
2.9	Поверхнева ушкодження Нд Забойна		Спотворення поверхні виливка, яке виникає під час виливання його із форми, очищення і транспортування	Недбале виконання операцій виливання виливків із форм, очищення, транспортування тощо	Чітко виконувати операції виливання, очищення транспортування виливків; не допускати надмірної ударної дії на поверхню виливків
2.10	Складчастість Нд Надлив Заворот Хвилястість		Незначні гладенькі горбинки та заглибини на поверхні виливка	Неправильне розташування виливка у ливарній формі; низька рідкотекучість металу; схильність сплаву до плівкоутворення	Не допускати горизонтального розташування великих площин форми; температура металу повинна бути на 80...100°C вище температури ліквідус
2.11	Груба поверхня Нд Нерівність поверхні		Шорсткість поверхні виливка з пазами, які перевищують припустимі за нормативним документом	Використання крупнозернистого піску як наповнювача формувальної суміші; недостатня ущільненість ливарної форми; неякісне нанесення протипригарного покриття	Використовувати пісок із середнім розміром 0,2 мм; ущільненість формувальної суміші повинна бути не менше 1,65 г/см <sup>3</sup> ; використовувати металеві моделі та якісно наносити покриття

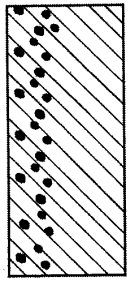
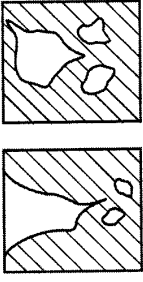
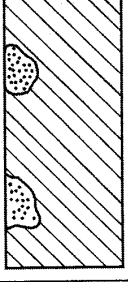
Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6
2.12	Газова шорсткість Нд Пузирчастість		Сфероподібні заглибини на поверхні виливка, які виникають внаслідок утворення газових раковин на межі розділу метал-форма	Заливання форм не розкисненим металом; сирі форми і стрижні; низька газопроникність ливарної форми; захоплення повітря металом під час заливання його в форму	Розкиснювати метал за новою технологією, наприклад, для сталей: $FeMn \rightarrow FeSi \rightarrow Al \rightarrow L3M \rightarrow P3M$ ; зменшити вміст вологи у суміші до 3,0...3,5%; підвищити газопроникність форми і проставити випори; визначити оптимальну швидкість заповнення форми металом
2.13	Засміченість Нд Намив		Формувальний матеріал, який заглиблений у повертні шари виливка	Недбалі простановка стрижнів у форму та її збирання	Після простановки стрижня у нижню півформу та збирання форми продувати порожнину стиснутим повітрям з тиском 0,1...0,2 МПа
<b>3 Несуцільності в тілі виливка</b>					
3.1	Гаряча тріщина Нд Усадкова тріщина		Розриви або надриви тіла виливка усадкового походження з темною поверхнею, які утворюються в інтервалі температур, що обумовлюють низькі механічні властивості	Напружини у виливку, які сприяють утворенню гарячих тріщин після перевищення межі міцності металу при певній температурі; невідатливість ливарної форми або стрижня; „зв'язана” конструкція литої деталі	Створити умови рівномірного і одночасного тверднення різних частин виливка; скорегувати конструкцію литої деталі під час її освоєння; вибрати оптимальну для металу і виливка температуру рідкого металу; використовувати внутрішні і зовнішні холодильники

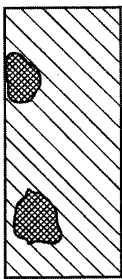
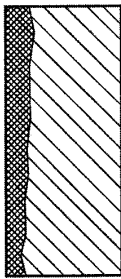
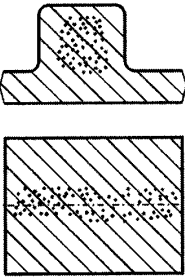
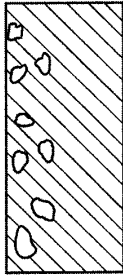
Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6
3.2	Холодна тріщина Нд Бй		Розриви тіла виливка, який за твердів, внаслідок залишкових внутрішніх напружин або зовнішньої механічної дії, які перевищують характеристики міцності металу	Недбале видалення виливка із форми; порушення правил очищення, транспортування та відокремлювання елементів ливникової системи ударною дією; великі навантаги, що діють на стінки виливка	Підвищити піддатливість ливарної форми і стрижнів; здійснювати високотемпературний (600...700°C) відпуск для зняття залишкових ливарних напружин; обережати виливки від надмірної ударної дії
3.3	Міжкристалова тріщина		Розрив тіла виливка межами первинних зерен аустеніту у температурному інтервалі його розпаду	Підвищений вміст водню у сталі, неправильний режим термічного оброблення виливка	Не допускати випалення сплаву з використанням вологої шихти; здійснювати продування аргоном сплаву, а також вакуумування сплаву перед заливанням у форму
3.4	Газова раковина Нд Пузир		Порожнина у тілі виливка, яка утворилася внаслідок підвищеного вмісту газів, що виокремлюються із металу або металікають у метал	Підвищений вміст газів у металі перед заливанням форми; інтенсивне газовиділення ливарної форми; мала газопроникність форми; дисоціація водяної пари у формі	Не перегрівати метал у плавильному агрегаті; зменшувати вміст вологи у сирих формах до 2,5...3,0%; підвищувати газопроникність форми; установлювати випори у верхніх точках виливка

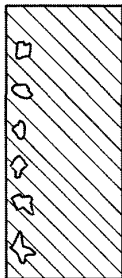
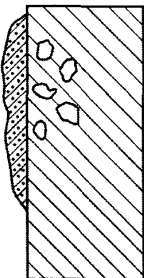
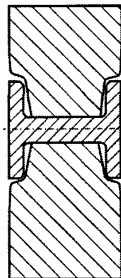
Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6
3.5	Ситоподібна раковина Нд Ситоподібна поруватість		Подовжені тонкі раковини в тілі виливка, які орієнтовані нормально до поверхні виливка	Підвищений вміст водню у поверхневому шарі металу, який кристалізується	Здійснювати об'ємне або поверхневе сушіння форм і стрижнів; вакуумувати сплави або продувати аргонном; використовувати газовий бар'єр у формі
3.6	Усадкова раковина Нд Підсадина		Відкрита або закрита порожнина у тілі виливка з грубою шорсткою поверхнею, розташовується, переважно, у верхній, найбільш гарячій, частині виливка і твердне останньою	Об'ємна усадка металу під час переходу його із рідкого стану в твердий; велика різниця в товщинах стінок виливка; висока температура металу перед заливанням у форму; низька теплоакумулювальна здатність ливарної форми	Покращання конструкції виливка – створення умов спрямованого тверднення металу; визначити оптимальну температуру металу перед заливанням у форму для виготовлення конкретного виливка; використання замість піску циркону, магнезиту, хромомагнезиту
3.7	Піщана раковина Нд Земляна раковина		Порожнина в тілі виливка, яка повністю або частково заповнена формувальним матеріалом	Недостатнє ущільнення матеріалу форми; наявність у порожнині форми формувального матеріалу, який відокремився від порожнини форми або стрижня під час збирання форми	Підвищити ущільненість ливарної форми до 1,65 г/см <sup>3</sup> ; після протравлення в півформу стрижнів і збирання форми продувати її стиснутим повітрям із тиском 0,1...0,2 МПа; використовувати протипригарні покриття

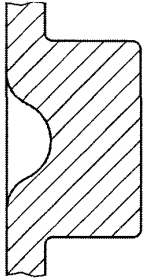
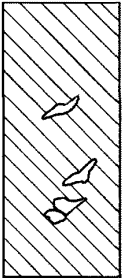
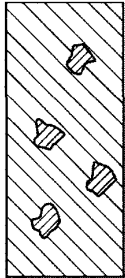
Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6
3.8	Шлакова раковина Нд Шлак		Порожина у тілі виливка, яка повністю або частково заповнена шлаком	Не дотримування технологій заливки форм; відсутність стопорних або чайникових ковшів; відсутність випорів і надливів	Заливання форм в умовах великосерійного і масового виробництва здійснювати чайниковими ковшами, а в умовах серійного - стопорними; передбачати у верхніх точках форми випори і відкриті надливи
3.9	Залитий шлак Нд Шлак		Часткове заповнення порожнини ливарної форми шлаком	Недостатня кількість металу для останньої форми; недбале заливання форми ковшом із носиком	Використовувати для заливання форм чайникові ковші; точно дозувати метал для визначеної кількості форм
3.10	Усадкова поруватість Нд Теча		Дрібні пори у тілі виливка, які утворилися внаслідок усадки металу під час його твердіння в умовах недостатнього живлення виливка	Відсутність надливів та випорів у верхніх точках виливка; неправильне розташування виливка у формі; конструкція виливка не дозволяє здійснюватися напрямленому твердінню	Виливки, які мають форму тіл обертання, розташовувати тільки вертикально; змінити конструкцію литої деталі під час освоєння; виконувати надливи і клинові випори
3.11	Газова поруватість Нд Ситоподібна поруватість		Дрібні пори у тілі виливка, які утворюються через виокремлення газів із металу під час його твердіння	Недостатньо розкиснений метал; підвищена газоутворювальна здатність форми або стрижнів; низька газопроникність форми	Здійснювати глибоке розкиснення металу; використовувати формувальні суміші з мінімальною кількістю (2,5...3,0%) вологи; підвищувати газопроникність форми

Продовження табл.3.1

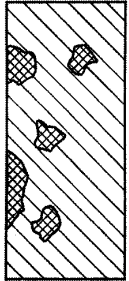
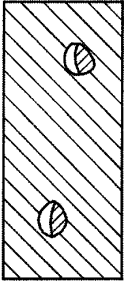
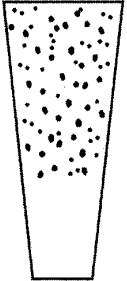
1	2	3	4	5	6
3.12	Дірчастість Нд Підіркова пору- ватість		Скупчення дрі- бних усадкових раковин, які вияв- ляються, переваж- но, під час механі- чного оброблення або методами не- руйнівного конт- ролю	Недостатнє підживлення потовщених частин виливка рідким металом під час його кристалізації, особливо та- ких, які мають форму тіл обертання і розташовуються в ливарній формі горизон- тально	Виливки, які мають фо- рму тіл обертання, необхід- но розташовувати вертика- льно; використовувати си- фонне заливання форм; підживлювати частини ви- ливка внутрішніми надли- вами; використовувати хо- лодильники
3.13	Скипання Нд Кипіння		Скупчування газових раковин та наростів, особливо у потовщених час- тинах виливків	Інтенсивне пароутворен- ня в надвологих місцях ли- варної форми; проникнення газів із стрижня у метал; не- достатня газопроникність форми	Контролювати вологість суміші, слідкувати за про- цесом приготування форму- вальної суміші; установлю- вати у найвищих точках по- рожнини форми випори
3.14	Непровар жеріб- йок (холоди- льників)		Несуцільності, які утворюються через неякісне з'єднання металу виливка з поверх- нею жерібійки або внутрішнього хо- лодильника	Неякісне підготовлення поверхні жребійки або хо- лодильника перед простав- ленням їх у ливарну форму; занижена температура ме- талу перед заливанням його у форму	Підвищувати температу- ру металу на 80...100°C над лінійю ліквідуса; пришвид- шувати заливання металу у форми; раціонально підво- дити метал у форму для хо- рошого прогрівання жребі- йок

Продовження табл.3.1

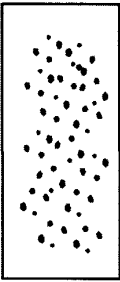
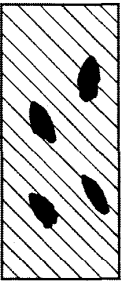
1	2	3	4	5	6
3.15	Утяжина Нд Утяжка Підсадина		Заглиблення на поверхні виливка з заокругленими краями в потовщених його частинах	Відсутнє підживлення рідким металом потовщених частин виливка під час його тверднення	Забезпечувати напрямлене тверднення потовщених частин виливка використанням надливів, внутрішніх і зовнішніх холодильників
3.16	Флокен		Дрібні розриви тіла виливка, які проходять повністю або частково через об'єми первинних зерен	Підвищений вміст водню в сталі; великі внутрішні напружини в металі внаслідок асоціації атомів водню під час тверднення виливка	Не використовувати волю шихту для виплавлення сплавів; продувати метал аргоном або вакуумувати його перед заливанням у форми
<b>4 Вкраплення</b>					
4.1	Металеві вкраплення		Часточки феросплаву, лігатури, іншого металу в тілі виливка, які не розплавились та мають поверхню розділу з металом виливка	Низька температура останнього металу під час оброблення його легувальними та модифікувальними присадками, переважно, під час здійснення позапічного легування і модифікування металу	Підвищувати температуру металу перед легуванням або модифікуванням; здійснювати достатнє витримання металу для розплавлення або розчинення прирідків



Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6
4.2	Неметалеві вкrapлини Нд Чорні плями		Неметалеві часточки в тілі вилівка, які мають різну форму, величину і хімічний склад та розташовуються як на межах зерен, так і всередині їх	Мала тривалість витримання металу у ковші для спливання продуктів розкиснення, часточок футеровки тощо; підвищена в'язкість металу через низьку його температуру	Здійснювати перемішування металу; підвищувати температуру металу; опрацьовувати метал ЛЗМ і РЗМ для переведення неметалевих вкrapлин із гострокутних у глобулярні
4.3	Корольок		Кулька металу такого ж складу, але що і вилівок, але затверділа окремо і не сплавилася з металом вилівка	Передчасне тверднення крапель металу, які утворюються внаслідок використання неправильної ливничкової системи; неякісне заливання металу у форму, неправильне підведення металу у форму	Ливникова система повинна мати металоприймач під стояком; захищати наступні форми під час розливання металу від попадання його крапель у ливникову систему
<b>5 Невідповідність структури</b>					
5.1	Відбіл Нд Тверді місця		Частини вилівка із сірого чавуну, які мають високу твердість і важко піддаються механічному обробленню	Накопичення структурно-вогневого цементиту, особливо в тонких частинах вилівка, через високу швидкість охолодження металу; невідповідність чавуну хімічному складу	Контролювати хімічний склад металу; визначати оптимальну швидкість охолодження тонкостінних виливків; контролювати вміст в чавуні Mn і Cr

Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6
5.2	Половинчастість Нд Відсіривування Первинний графіт		Наявність структури сірого чавуну у виливках із білого	Невідповідність чавуну хімічному складу; неправильна конструкція виливка; порушення технології охолодження виливка	Не допускати використання некондиційних шихтових матеріалів і перегрівання металу; контролювати хімічний склад металу
5.3	Ліквация		Місцеві накопичення окремих хімічних елементів або їх сполук, особливо у потовщених частинах виливка	Недостатнє перемішування металу після оброблення його присадками; повільне охолодження виливка; підвищений вміст С, Si, P, S; зменшення розчинності цих елементів із зниженням температури і здійснення збирального процесу	Здійснювати глибоку десульфурацію і дефосфорування металу; прискорювати процеси тверднення виливка; підвищувати вміст марганцю в чавуні

Окрім установлення причин появи дефектів необхідно вміти правильно розпізнавати самі дефекти виливків.

На жаль, сьгоднішні технологічні процеси виготовлення виливків не забезпечують їх повну бездефектність.

Нижче наведені деякі реальні виливки з дефектами різного походження.

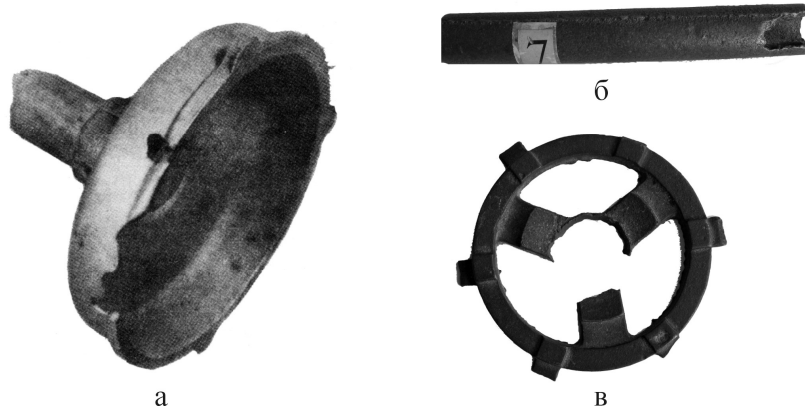


Рис.3.1. Недолив: а – неправильно розрахована та розташована ливникова система; б, в – недостатня температура металу перед заливанням його у форму (табл.3.1, поз.1.1)

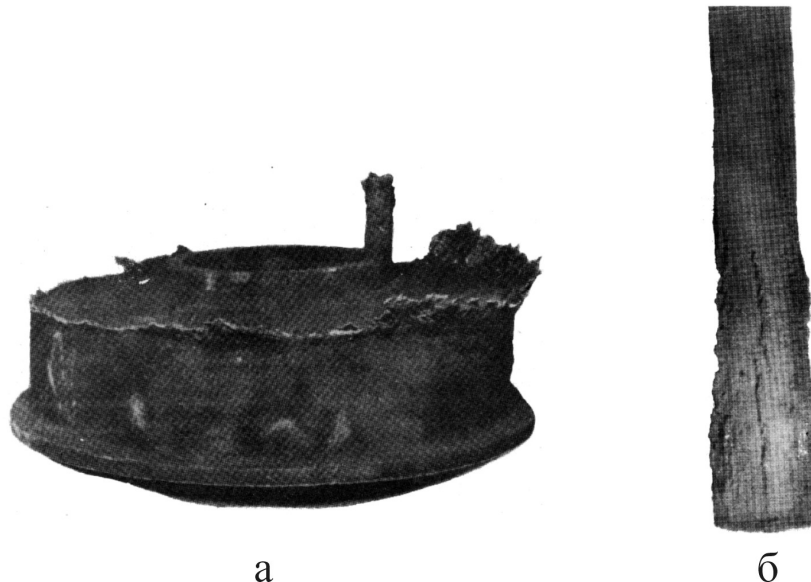


Рис.3.2. Подутість: а – недостатнє ущільнення формувальної суміші; б – нерівномірне ущільнення формувальної суміші по висоті ливарної форми (табл.3.1, поз.1.4)



Рис.3.3. **Перекіс** внаслідок порушення центрування і фіксації половинок моделі на модельних плитах (табл.3.1, поз.1.5)

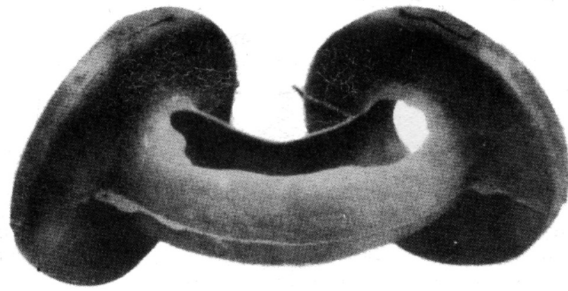


Рис.3.4. **Недолив** внаслідок спливання незафіксованого у формі стрижня (табл.3.1, поз.1.1)



Рис.3.5. **Стрижневий залив** – непроставлений у ливарну форму під час її збирання стрижень (табл.3.1, поз.1.8)



Рис.3.6. **Жолоблення** – невдала конструкція литої деталі та надмірно швидке охолодження виливка в ливарній формі (табл.3.1, поз.1.9)



Рис.3.7. **Вилом** – невірно визначений переріз живильника (висота живильника більша товщини стінки виливка), порушена технологія відокремлення елементів ливникової системи від виливка (табл.3.1, поз.1.12)



Рис.3.8. **Прорив металу** – недостатня міцність ливарної форми та наявність порожнини між контрладом нижньої півформи і платформою візка ливарного конвейєра (табл.3.1, поз.1.13)

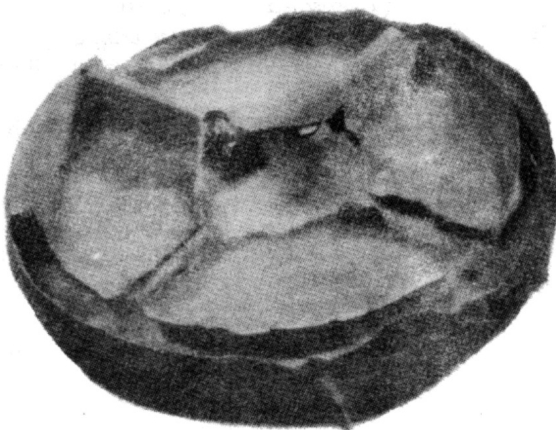


Рис.3.9. **Вихід металу** – ненадійне скріплення півформ, відсутність вантажу на формі (табл.3.1, поз.1.14)

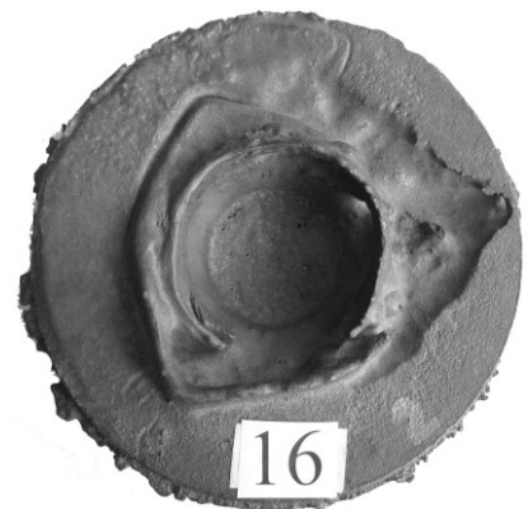


Рис.3.10. **Вихід металу** внаслідок високого динамічного напору металу у формі (табл.3.1, поз.1.14)



Рис.3.11. **Пригар** – недостатне ущільнення формувальної суміші у важкодоступних місцях та висока температура металу перед заливанням його у форму (табл.3.1, поз.2.1)

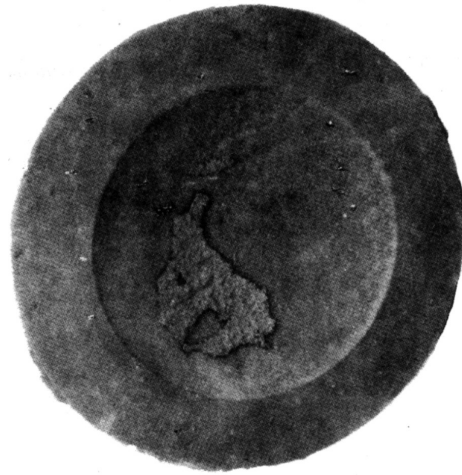


Рис.3.12. **Ужимина** – надмірна ущільненість формувальної суміші, внаслідок чого форма стала неспроможною сприймати теплове розширення кварцу без порушення цілісності поверхні (табл.3.1, поз.2.3)



Рис.3.13. Частина сталевого вилівка, яка має декілька дефектів: **залів** – проникнення металу зазорами стрижневих знаків; **поверхнєве ушкодження** – недбале транспортування вилівка; **газова шорсткість** – сира форма (табл.3.1, поз.2.5; 2.9; 2.12)

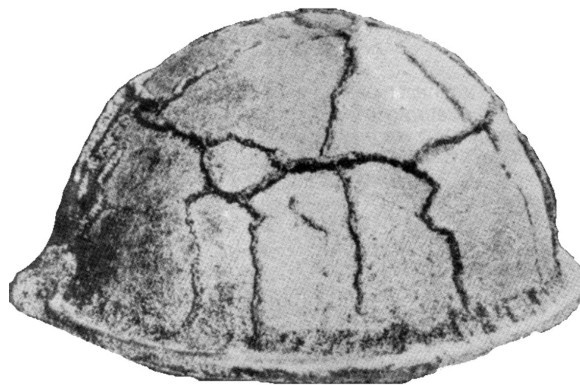
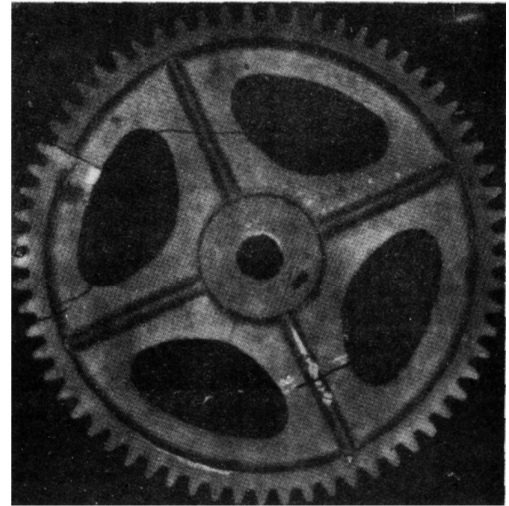


Рис.3.14. **Просік** – порушена технологія сушіння форми і не виконане фарбування її поверхні (табл.3.1, поз.2.7)



а



б

Рис.3.15. **Гаряча тріщина:** а – утворилася внаслідок надмірних напружин у металі (для аналізу тріщини вилівок дещо zdeформований); б – „зв’язана” конструкція литої деталі (табл.3.1, поз.3.1)



Рис.3.16. **Холодна тріщина** – виявлена під час механічного оброблення вилівка; причина – порушення правил транспортування литої деталі, виготовленої із сірого чавуну (табл.3.1, поз.3.2)

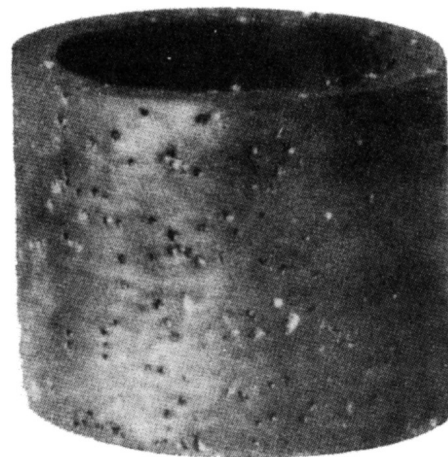


Рис.3.17. **Ситоподібна раковина** – виявлена після зняття ливарної кірки точінням; причина – надмірний вміст водню в металі (табл.3.1, поз.3.5)

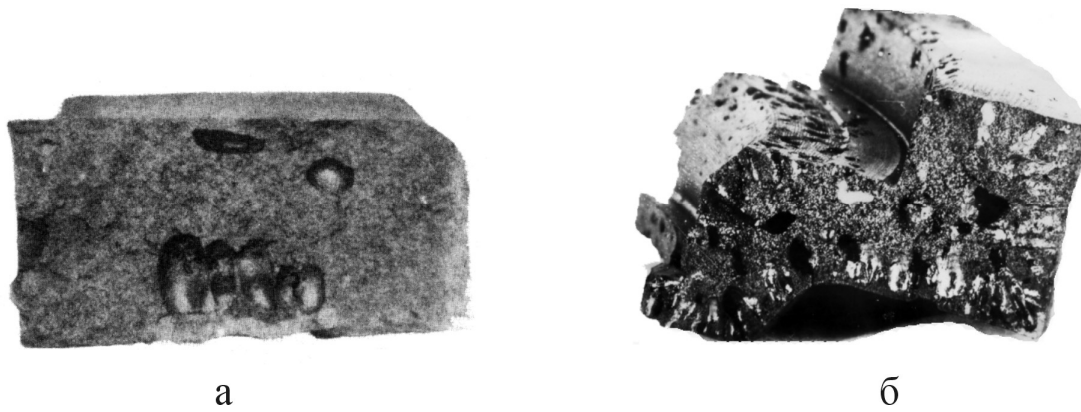


Рис.3.18. Газова раковина: а – мала газопроникність ливарної форми; б – наскрізна газова раковина – утворена надмірним газовиділенням ливарної форми (табл.3.1, поз.3.4)

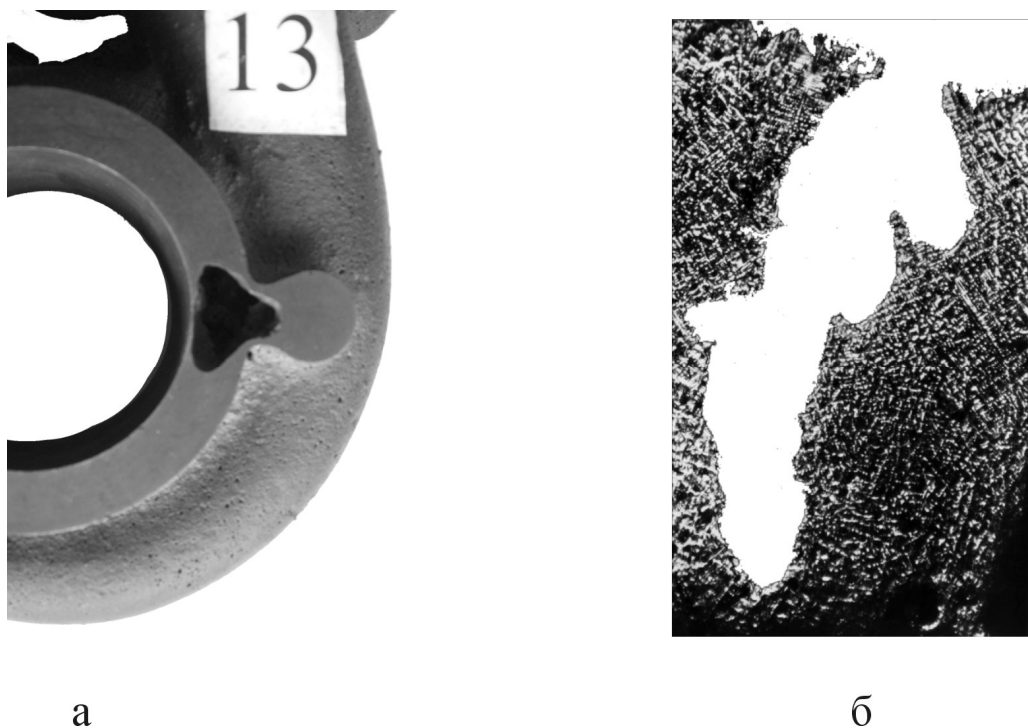


Рис.3.19. Усадкова раковина: а – утворена внаслідок великої різниці в товщинах стінок виливка і високої температури металу перед заливанням його в ливарну форму (виявлена під час механічного оброблення); б – класичний приклад відкритої усадкової раковини у верхній потовщеній частині виливка (табл.3.1, поз.3.6)





Рис.3.20. **Ситоподібна раковина:** утворена підвищеним вмістом водню в поверхневому шарі металу і виявлена під час механічного оброблення (табл.3.1, поз.3.5)



Рис.3.21. **Піщана раковина:** утворена грудочками формувальної суміші, які попали в порожнину ливарної форми через недбале її збирання (табл.3.1, поз.3.7)

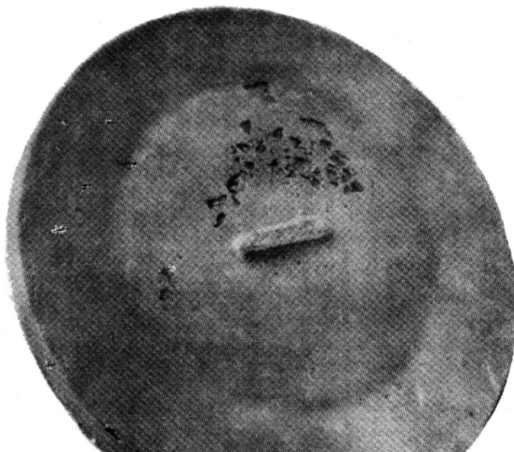


Рис.3.22. **Шлакова раковина** – заливання форм металом із шлаком і відсутність випорів (табл.3.1, поз.3.8)



Рис.3.23. **Корольки** – неправильна конструкція ливникової системи (табл.3.1, поз.4.3)

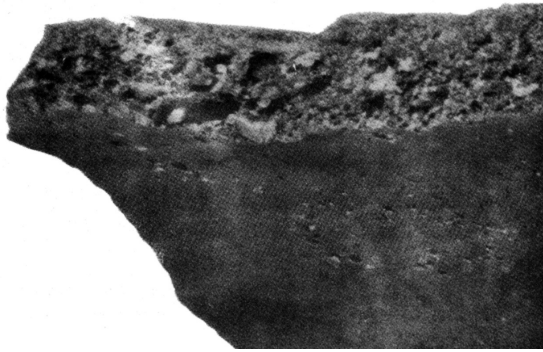


Рис.3.24. **Залитий шлак** – недостатня кількість металу для останньої форми (табл.3.1, поз.3.9)

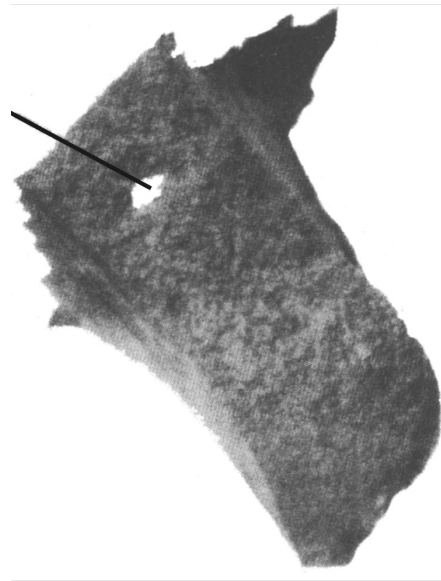


Рис.3.25. **Металева вкратина** – низька температура рідкого металу перед його легуванням (табл.3.1, поз.4.1)



Рис.3.26. **Дірчастість** – неправильне розташування вилівки, що має форму тіла обертання, в ливарній формі (табл.3.1, поз.3.12)



Рис.3.27. **Утяжина** – відсутнє підживлення рідким металом потовщених частин вилівка під час його твердіння (табл.3.1, поз.3.15)

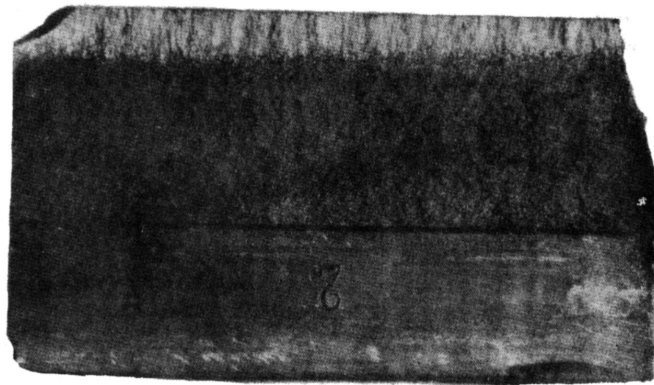


Рис.3.28. **Відбіл** – накопичення структурно-вільного цементиту в місцях високої швидкості охолодження металу (табл.3.1, поз.5.1)

### 3.4 Брак виливків і його попередження

**Браком** на виробництві називають продукцію (вироби, напівфабрикати, заготовки), передавання якої замовнику не допускається з причини наявності дефектів.

Брак може бути **виправним і остаточним** (невиправним).

Значна частина дефектних виливків може бути доведена до стану, який повною мірою буде відповідати вимогам нормативного документа. Цього досягають різними методами виправлення дефектів.

Залежно від матеріалу, з якого виготовленні виливки, для виправлення дефектів використовують електродугове і газове зварювання, декоративне виправлення різними замазками і пастами та металізацію. Наскрізні течі усувають просочуванням виливків спеціальними рідинами, використанням вставок і пробок, а невідповідність структури – термічним обробленням. У кожному конкретному випадку вибира-

ють найбільш раціональний спосіб усунення дефекту, який забезпечував би виправленому виливку необхідні технічні властивості і був би економічно вигідним.

Вартість виправлення дефектного виливка повинна бути значно нижчою вартості виготовлення нового виливка.

У випадку, коли виправлення дефектного виливка забезпечує йому необхідну якість і економічно буде доцільним, його необхідно вважати обов'язковим.

Виправлені виливки піддають контролю за загальними технологіями.

Для організації робіт, пов'язаних з усуненням браку, в бюро технічного контролю (БТК) ливарного цеху систематизують відомості про види браку, причини їх появи і винуватців.

З метою систематичного підвищення якості виливків і зниження браку організовують **ізолятор браку**: для великих виливків – це спеціальний майданчик, для дрібних – окрема кімната, обладнана стежами. Призначення ізолятора браку – облік браку, аналіз причин появи браку, прийняття рішень щодо їх усунення, установлення винуватців.

На майданчику або в кімнаті збирають усі браковані виливки, виготовлені в цеху протягом зміни або доби. Щоденно комісія, до складу якої входять начальник цеху або його заступник з питань виробництва, начальники змін і дільниць, майстри і працівники БТК, здійснює аналіз браку.

Метою аналізу є:

- своєчасне і повне виявлення всіх випадків появи браку;
- ефективна боротьба з браком через виявлення бракованих виливків, а також операцій, на яких відсоток браку значний;
- виявлення конкретних винуватців для прийняття заходів щодо посилення відповідальності, матеріального відшкодування збитків за рахунок винуватців, зміцнення дисципліни працівників усіх рівнів;
- одержання інформації про недоліки в роботі виробничих дільниць, машин і агрегатів для прийняття відповідних заходів;
- одержання статистичних матеріалів для складання місячних, кварталних і річних звітів з якості продукції ливарного цеху.

Брак може виникати з технічних або організаційних причин.

Технічними причинами є:

- наявність похибок і неточностей в креслениках або технічних умовах;
- неправильно вибраний технологічний процес виготовлення виливків;
- неправильна експлуатація устаткування тощо.

До організаційних причин відносять:

- низьку кваліфікацію робітників;
- порушення технологічної дисципліни;
- неякісні вихідні матеріали і таке інше.

Для зменшення браку виливків необхідно використовувати контроль усіх операцій технологічного процесу виготовлення виливків.

Практикою встановлено, що основними причинами зниження якості литих заготовок є:

- порушення технологічних процесів, окремих операцій або недбалість у роботі – 47,6%;
- технологічні порушення – зіпсованість устаткування, інструменту та оснастки, а також похибки в технологічній документації – 40,1%;
- зовнішні фактори (неякісні вихідні матеріали) – 4,3%;
- кваліфікація робітників – 3,4%;
- похибки в конструкторській документації – 1,4%;
- інші причини – 3,2%.

Отже підвищення якості виливків завжди супроводжується зниженням витрат на обслуговування і ремонт, а сама якість є економічною категорією, мірилом праці, яка матеріалізується в продукції ливарного цеху – виливках.

**Визначення відсотка можливого браку.** Дані, які одержують під час контролю параметрів технологічних процесів, операцій або виготовлених виливків, є випадковими відхиленнями від істинних значень того або іншого контрольованого параметра і підпорядковуються закону нормального розподілу, тобто по обидва боки від істинного значення параметра будуть розташовуватися значення більші і менші останнього. За наявності заданих нормативними документами (ДСТУ, ГОСТ, ТУ, ТУУ) меж допуску ВМ і НМ (верхня і нижня межі) відсоток можливого браку визначають на підставі співставлення значень середнього арифметичного  $\bar{X}$  та середнього квадратичного результатів вимірювань  $S_x$  із заданими межами допуску.

Середнє арифметичне  $\bar{X}$  характеризує наближення одержаних під час контролю результатів до істинного значення параметра, що контролюється, а середнє квадратичне результатів вимірювань  $S_x$  характеризує збіжність результатів окремих вимірювань, тобто ступінь їх концентрації відносно середнього арифметичного  $\bar{X}$ .

Середнє квадратичне результатів вимірювань визначають за формулою:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3.1)$$

Сутність закону нормального розподілу полягає в тому, що за умови великої кількості вимірювань завжди існує найбільша вірогідність одержання результатів з мінімальною похибкою. При зростанні похибки в бік як позитивних, так і негативних значень ординати кривої зменшуються, рис.3.29. Чим більша похибка, тим менша вірогідність її появи.

Знижуючись, крива асимптотно наближається до абсциси, тобто вірогідність появи великих похибок дуже мала (див. рис.3.29).

Для визначення  $\bar{X}$  та  $S_x$  необхідно взяти вибірку не менше 100 значень параметра (чим більше значень, тим точніше можна визначити відсоток можливого браку), що досліджується, із журналу результатів вимірювань і визначити  $X_{\max}$  та  $X_{\min}$ .

Розмах, який є різницею між максимальним і мінімальним значеннями контрольованого параметра, визначають за формулою:

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (3.2)$$

Для полегшення розраховувань розмах варіювання розділяють на інтервали.

Перед вибиранням ширини інтервалу визначають кількість інтервалів, виходячи із заданого об'єму вимірювань із співвідношення:

$$K \leq 5 \lg n \quad (3.3)$$

Значення  $K$  для деяких об'ємів вимірювань наведені в табл.3.2.

Таблиця 3.2. Значення  $K$  для об'ємів вимірювань  $n$

$n$	10	50	100	500	1000	10000
$K$	5	8	10	13	15	20

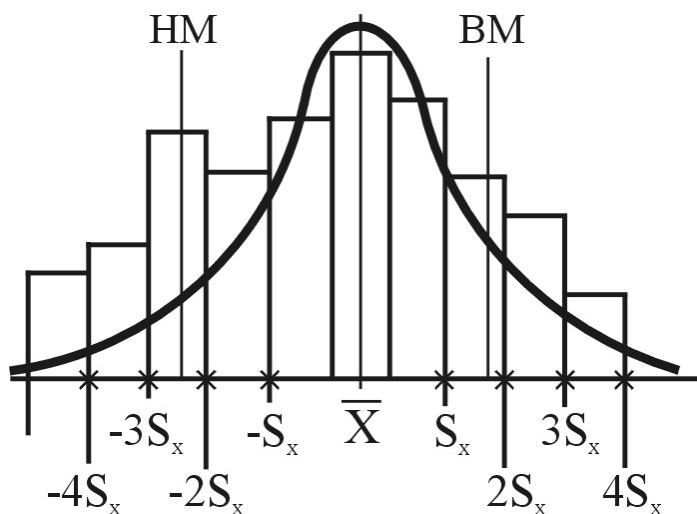


Рис.3.29. До пояснення закону нормального розподілу

Визначивши  $K$ , розраховують ширину інтервалу за формулою:

$$D = \frac{R}{K} \quad (3.4)$$

Після розраховування вибирають число, яке знаходиться найближче до визначеного. Кращою шириною інтервалів є 1, 2, 5, 10, 15 або інше число кратне 5. Вибране число буде уявляти собою інтервал угруповання.

За умови малої вибірки можна не поділяти її на інтервали.

Площа, що обмежена кривою нормального розподілу і абсцисою (див. рис.3.29) дорівнює майже одиниці або 100%. Середнє арифметичне ділить цю площу навпіл, тобто площа між  $\bar{X}$  і  $\infty$  складає 0,5 або 50%.

Площу, яка обмежена кривою і знаходиться між  $\bar{X}$  і однією із меж (верхньою або нижньою), визначають за допомогою відповідних таблиць. У цих таблицях  $t$  означає відхилення від  $\bar{X}$ , виражене не в звичайних одиницях, а в долях  $S_x$ :

$$t = \frac{|X - \bar{X}|}{S_x}, \quad (3.5)$$

де  $X$  – верхня або нижня межа параметра, що досліджують, обумовлена нормативним документом.

Для визначення відсотка можливого браку використовують формули:

– якщо таблиця значень  $F(t)$  наведена у відсотках:

$$B = 50 - F(t) \quad (3.6)$$

– якщо площа під кривою розподілу в таблиці прийнята за одиницю:

$$B = [0,5 - F(t)] \cdot 100 \quad (3.7)$$

де  $F(t)$  – площа під кривою нормального розподілу на довжині відрізка по один бік від середнього арифметичного  $\bar{X}$ .

Значення  $F(t)$  залежно від  $t$  у відсотках наведені в табл.3.3.

Таблиця 3.3. Значення  $F(t)$  залежно від  $t$  у відсотковому виразі

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0	0,00	0,40	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80	3,20	3,60
0,1	4,00	4,40	4,80	5,17	5,57	5,96	6,36	6,75	7,14	7,53
0,2	7,93	8,32	8,71	9,10	9,48	9,87	10,26	10,67	11,03	11,41
0,3	11,79	12,17	12,55	12,93	13,31	13,68	14,06	14,43	14,80	15,17

0,4	15,54	15,91	16,28	16,64	17,00	17,36	17,72	18,08	18,44	18,79
0,5	19,15	19,50	19,85	20,19	20,54	20,88	21,23	21,57	21,90	22,24
0,6	22,57	22,91	23,24	23,57	23,89	24,22	24,54	24,74	25,17	25,49

Продовження табл.3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,7	25,80	26,11	26,42	26,73	27,04	27,34	27,64	27,94	28,23	28,52
0,8	28,81	29,10	29,39	29,67	29,95	30,23	30,57	30,78	31,06	31,33
0,9	31,59	31,86	32,12	32,38	32,64	32,89	33,15	33,40	33,65	33,89
1,0	34,13	34,38	34,61	34,85	35,08	35,31	35,54	35,77	35,99	39,21
1,1	36,43	36,65	36,86	37,08	37,29	37,49	37,70	37,90	38,10	38,30
1,2	38,49	38,69	38,88	39,07	39,25	39,44	39,62	39,80	39,97	40,15
1,3	40,32	40,49	40,66	40,82	40,99	41,15	41,31	41,47	41,62	41,77
1,4	41,92	42,07	42,22	42,36	42,57	42,65	42,79	42,86	43,06	43,19
1,5	43,32	43,45	43,57	43,70	43,82	43,94	44,06	44,18	44,49	44,41
1,6	44,52	44,63	44,74	44,84	44,95	45,05	45,15	45,25	45,35	45,45
1,7	45,54	45,64	45,73	45,82	45,91	45,99	46,08	46,16	46,26	46,33
1,8	46,41	46,49	46,56	46,64	46,71	46,78	46,85	46,93	46,99	47,06
1,9	47,13	47,19	47,26	47,32	47,38	47,44	47,50	47,56	47,61	47,67
2,0	47,72	47,80	47,83	47,90	47,93	48,00	48,03	48,08	48,12	48,17
2,1	48,21	48,25	48,30	48,35	48,38	48,46	48,48	48,50	48,54	48,58
2,2	48,61	48,65	48,68	48,72	48,75	48,78	48,81	48,84	48,87	48,90
2,3	48,93	48,96	48,98	49,01	49,04	49,07	49,11	49,13	49,16	49,39
2,4	49,18	49,20	49,22	49,25	49,27	49,29	49,31	49,32	49,34	49,36
2,5	49,38	49,40	49,41	49,43	49,45	49,47	49,48	49,50	49,51	49,54
2,6	49,53	49,55	49,56	49,58	49,59	49,60	49,61	49,62	49,63	49,64
2,7	49,65	49,65	49,65	49,65	49,70	49,70	49,70	49,70	49,75	49,75
2,8	49,75	49,75	49,76	49,77	49,78	49,79	49,80	49,80	49,80	49,80
2,9	49,80	49,80	49,81	49,82	49,83	49,84	49,85	49,85	49,858	49,85
3,0	49,86	49,86	49,86	49,86	49,86	49,86	49,86	49,86	49,86	49,86
3,1	49,86	49,87	49,87	49,87	49,88	49,89	49,90	49,91	49,92	49,93
3,2	49,93	49,93	49,93	49,93	49,94	49,94	49,94	49,94	49,95	49,95
3,3	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95
3,4	49,96	49,96	49,96	49,96	49,96	49,96	49,96	49,96	49,96	49,96
3,5	49,97	49,97	49,97	49,97	49,97	49,97	49,97	49,97	49,97	49,97
3,6	49,98	49,98	49,98	49,98	49,98	49,98	49,98	49,98	49,98	49,98
3,7	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99
3,8	49,99	так само								
3,9	49,99	так само								
4,0	49,99	так само								
5,0	49,999	так само								

**Приклад визначення відсотка можливого браку.** Вихідні дані для розрахування (довжина спіралі за пробою Кері) наведені в табл.3.4.

Таблиця 3.4. Дані для визначення відсотка можливого браку

Параметр, який контролюють	Межі контрольованого параметра	Результати контролю параметра
----------------------------	--------------------------------	-------------------------------



	верхня	нижня	
Рідкотекучість сталі, мм	650	500	620, 650, 580, 680, 570, 680, 610, 440, 520, 590

**Послідовність розрахування:** оскільки вибірка невелика (10 вимірів), можна не поділяти її на інтервали.

Визначаємо середнє арифметичне:

$$\bar{X} = \frac{620 + 650 + 580 + 680 + 570 + 680 + 610 + 440 + 520 + 590}{10} = 594$$

Визначаємо середнє квадратичне результатів вимірювань за формулою 3.1:

$$S_x = \sqrt{\frac{(26)^2 + (56)^2 + (-14)^2 + (86)^2 + (-24)^2 + (86)^2 + (16)^2 + (-154)^2 + (-74)^2 + (-4)^2}{10-1}} = 73,66;$$

$$S_x = 73,66.$$

Із наведених результатів контролю параметра (див. табл.3.4) визначаємо  $X_{\max} = 680$  і  $X_{\min} = 440$ .

Визначаємо відхилення  $t$  від  $\bar{X}$ :

$$t_1 = \frac{|680 - 594|}{73,66} = 1,17; \quad t_2 = \frac{|440 - 594|}{73,66} = 2,09.$$

Користуючись таблицею 3.3, знаходимо:

$$F(t_1) = 37,90; \quad F(t_2) = 48,17.$$

Визначаємо відсоток можливого браку, користуючись формулою 3.6:

– для  $X_{\max} = 680$  і  $F(t_1) = 37,90$

$$B_1 = 50 - 37,90 = 12,10\%$$

– для  $X_{\min} = 440$  і  $F(t_2) = 48,17$

$$B_2 = 50 - 48,17 = 1,83\%$$

Відсоток можливого браку визначаємо як середнє арифметичне одержаних результатів:

$$B = \frac{B_1 + B_2}{2} = \frac{12,10 + 1,83}{2} = 6,96\%.$$

**Висновок:** враховуючи особливості вимірювання рідкотекучості ливарних сплавів з використанням спіралі Кері, визначений відсоток можливого браку (невідповідність температури рідкого металу перед заливанням його в ливарні форми) знаходиться в межах допустимого значення.

## 4 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

### 4.1 Загальна характеристика методів контролю

У виробництві високу якість матеріалів і виробів, які з них виготовляють, забезпечують точним виконанням технологічних процесів і їх удосконаленням. Одночасно з цим необхідне і безперервне удосконалення методів контролю якості продукції, щоб не допустити в експлуатацію дефектних деталей, вузлів, агрегатів і виробів у цілому.

У промисловості найбільш широко використовують такі методи контролю деталей:

– **контроль геометрії виробів** – контролю піддають усі розміри: лінійні та кутові.

Невідповідність геометричних параметрів деталей (розмірів, форми, взаємного розташування поверхонь тощо) вимогам нормативних документів може виникнути як у процесі їх виробництва, так і в процесі експлуатації через інтенсивний знос, деформацію тощо.

Визначення характеру і величини зміни геометричних параметрів деталі здійснюють за допомогою вимірювальних інструментів і приладів з необхідною для кожного конкретного випадку точністю.

До відхилень форми деталей відносять: неплоскостність, непрямолінійність, овальність, конусоподібність, бочкоподібність, сідлоподібність, зігнутість тощо.

До відхилень розташування поверхонь відносять: непаралельність площин, непаралельність осей поверхонь обертання, торцеве і радіальне биття, неспіввісність тощо.

Обмірюванням визначають також характер і величину деформації деталей і агрегатів, розміри пошкоджень, величину люфтів, відхилень регульовальних параметрів машин від установлених технічними умовами, величини зазорів у з'єднаннях тощо.

Отже основним завданням контролю є перевіряння відповідності розмірів деталі або вилівка (іншої заготовки) розмірам, які регламентовані креслениками;

- **контроль деталей навантаженням** – використовують для контролю виробів, до яких пред'являють вимоги підвищеної безпеки під час експлуатації, наприклад, литі труби, балони, пневмо- і гідроциліндри тощо. Під час контролю використовують такі навантаги, які вищі за експлуатаційні, але не призводять до повного або часткового руйнування виробу. Цей метод контролю доцільно поєднувати з неруйнівним. Наприклад, труби або газові балони після випробовувань під тиском, який перевищує номінальний, піддають неруйнівному контролю для виявлення можливих тріщин, що проявляються під час навантажування;

- **контроль з руйнуванням зразків або деталей** – дає можливість одержувати відомості щодо механічних властивостей матеріалів статичними, динамічними або повторно-змінними навантаженнями: розтягуванням, крученням, згинанням, спільною дією всіляких умов навантаження, температурою тощо.

Усі випробовування на надійність також є руйнівними випробовуваннями. Методики здійснення руйнівного контролю надзвичайно різноманітні і дають можливість одержувати відомості щодо наявності дефектів, а також визначати показники якості продукції (призначення, технологічності, надійності);

- **контроль виробів без руйнування** (неруйнівний контроль, дефектоскопія) – дає можливість підвищити надійність і безпеку роботи виробів своєчасним виявленням дефектів у матеріалах, напівфабрикатах і деталях машин безперервним тестуванням.

Для ефективного використання неруйнівного контролю необхідні високий рівень засобів контролю, їх автоматизація і висока кваліфікація контролерів-дефектоскопістів.

Отже гарантія високої якості матеріалів і деталей, які з них виготовляють, можлива тільки за умови правильної організації контролю і своєчасного виявлення наявних дефектів.

## 4.2 Руйнівні методи контролю

Руйнівним випробовуванням піддають зразки, заготовки, деталі, вузли, машини і системи машин.

Оцінку якості матеріалів не можна правильно здійснити без визначення їх властивостей. Показниками якості конструкційних матеріалів є їх механічні властивості. Їх визначають механічними випробовуваннями, якими виявляють здатність металу чинити опір деформації або деформуватися під дією навантаги та визначають межі, до яких метал здатний витримувати зовнішні навантаги без руйнування.

Визначення показників механічних властивостей матеріалів здійснюють з метою контролю їх якості та якості деталей на різних етапах технологічного процесу виготовлення і експлуатації.

Висока якість литих деталей забезпечує надійність та довговічність експлуатації машин і механізмів, а це, в першу чергу, визначає їх економічність.

Якість же виливків нерозривно пов'язана з визначенням їх механічних властивостей і, перш за все, випробовуваннями характеристик міцності. Ці випробовування посідають значне місце в контролі якості литої продукції.

Взагалі якість виливків повинна задовольняти певним вимогам механічних, фізичних або хімічних властивостей, які обумовлюють

відповідними нормативними документами.

Завдання виробників полягає в тому, щоб знайти оптимальне поєднання умов забезпечення вимогових властивостей литих деталей з найбільш прийнятними техніко-економічними показниками виробництва.

**Механічні властивості** – це характеристики поведінки виробів під дією механічних напружин. Вони характеризуються міцністю, пластичністю, ударною в'язкістю, тривалою міцністю, твердістю і залежать від форми і розмірів виробу, стану його поверхні, швидкості навантаження, структури, впливу навколишнього середовища, температури і інших факторів.

До основних механічних властивостей відносять:

- **міцність** – опір матеріалу деформації і руйнуванню;
- **пружність** – здатність матеріалу відновлювати свою форму і об'єм після припинення дії зовнішніх сил або інших причин, які сприяють деформації металу;
- **пластичність** – здатність матеріалу під дією зовнішніх сил змінювати свою форму і розміри, не руйнуючись, і зберігати залишкові деформації після усунення цих сил;
- **твердість** – опір матеріалу місцевій пластичній деформації, яка виникає внаслідок проникання в нього більш твердого тіла (кульки, конуса, піраміди);
- **ударна в'язкість** – здатність матеріалу чинити опір дії ударних навантаж.

Механічні властивості визначають за результатами механічних випробовувань металів і сплавів.

**Механічні випробовування** – це визначення механічних властивостей матеріалів і виробів різними способами.

За характером зміни в часі діючої навантаги розрізняють такі механічні випробовування:

- **статичні**, при яких випробовуваний матеріал піддають дії сталої сили або сили, що зростає дуже повільно. Цими випробовуваннями визначають:
  - тимчасовий опір розриванню,  $\sigma_b$ ;
  - межу текучості,  $\sigma_t$ ;
  - міцність на стиск,  $\sigma_{ст}$ ;
  - міцність на згин,  $\sigma_з$ ;
  - відносне подовження,  $\delta$ ;
  - відносне звуження,  $\psi$ ;
  - твердість **HB, HRA, HRB, HRC, HV**;
  - мікротвердість окремих складових структури металів і різноманітних сплавів;
- **динамічні**, при яких випробовуваний зразок або виріб піддають

навантагам, що швидко зростають, або ударним навантагам. Цими випробовуваннями визначають:

- ударну в'язкість (КС, КСУ, КСV, КСТ);
- твердість за Шором;
- циклічну в'язкість;

– **утомні** – випробовуваний зразок піддають багаторазовим циклічним навантагам.

Окрему групу методів обумовлюють тривалі високотемпературні механічні випробовування (тривала міцність, повзучість, релаксація).

Залежно від температурних умов експлуатації деталей механічні випробовування здійснюють:

- при нормальних (кімнатних) температурах – 0...20°C;
- при низьких температурах – до –190°C (переважно до –60°C);
- при підвищених температурах - від +20 до 650°C;
- при високих температурах – вищих за 650°C.

Залежно від призначення деталей механічні випробовування здійснюють:

- при нормальних, низьких, підвищених та високих температурах;
- в агресивних середовищах;
- при наявності надрізів і вихідних тріщин;
- в умовах опромінювання, акустичної дії тощо.

**Механічні властивості не є чистими константами металу, а суттєво залежать від форми і розмірів зразка (виробу), від так званого масштабного фактора, швидкості навантажування, стану поверхні зразка, впливу навколишнього середовища, температури та багатьох інших факторів.**

Наприклад, тоненький зразок буде мати завжди більшу міцність, ніж товстий, виготовлений із такого ж матеріалу, оскільки вірогідність утворення дефектів у тонкому зразку менша. Отже для визначення механічних властивостей металевих матеріалів необхідно використовувати зразки однакових діаметра і робочої довжини.

Форма та розмір зразка для розривання (ГОСТ 1497-84, тип III) наведені на рис.4.1.

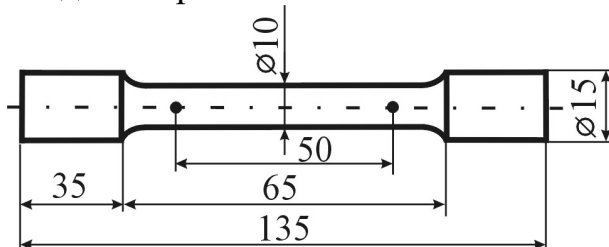


Рис.4.1. Форма та розміри зразка для розривання

Випробовування з використанням таких зразків дають можливість одержувати важливі параметри металу, за якими оцінюють його міцність, схильність до пружних та пластичних деформацій і в цілому визначають його якість.

Розривання зразків здійснюють на розривальних та універсальних випробовувальних машинах з механічним або гідравлічним рушієм. Загальний вигляд деяких універсальних машин наведений на рис.4.2.

Універсальна машина 1253У-2-1 призначена для статичних випробовувань металевих і пластмасових зразків розриванням, стискуванням і згинанням у широкому діапазоні навантаги – від 1,96 до 19620 Н і швидкості деформування – від 0,2 до 100 мм за хв. Температурні інтервали випробовувань - від 50 до 1200°С та від -5 до -150°С.

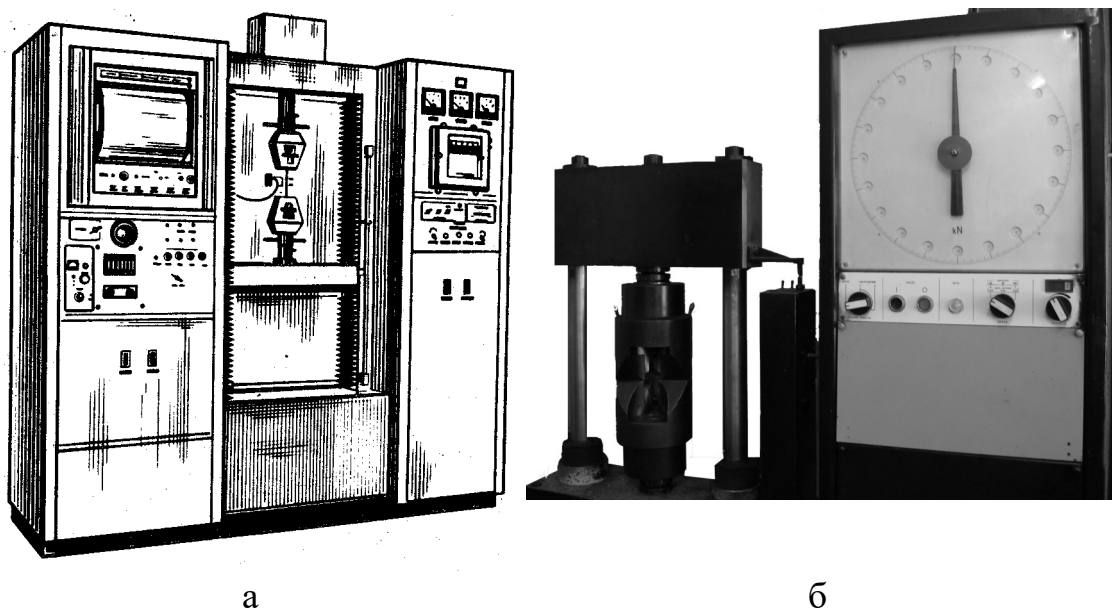


Рис.4.2. Універсальні машини для статичних випробовувань:  
а – мод.1253У-2-1; б – мод.МР-100 (фрагмент)

Машина МР-100 призначена для статичних випробовувань при нормальній температурі стандартних зразків металів за ГОСТ 1497-84 (див. рис.4.1).

Максимальна гранична навантага - 100 кН. Діапазони вимірювання навантаги: від 4 до 20 кН; від 10 до 50 кН; від 20 до 100 кН.

Похибка вимірювання не перевищує  $\pm 1\%$  вимірюваної навантаги; коефіцієнт технічного використання – не менше 0,94; вірогідність безвідмовної роботи за 2000 год або 40000 циклів – не менше 0,94.

Оскільки такі машини оснащені діаграмною стрічкою, то на ній у процесі випробовування автоматично викреслюється крива зміни напружин, які прикладаються до зразка, залежно від деформації останнього. Така типова крива наведена на рис.4.3.

Під дією зовнішньої навантаги на початку деформації змінюється тільки відстань між атомами в кристалевій ґратці металу. Після зняття такої

навантаги атоми повертаються у вихідний стан, а деформація зникає. Таку деформацію називають **пружною**. Максимальну напружину, після зняття якої не спостерігається залишкова деформація, називають **межею пропорційності матеріалу**  $\sigma_{\text{пц}}$  (див. рис.4.3).

Чим менша пружна деформація при сталих напружинах, тим „жорсткіший” матеріал. Збільшення напружин понад межу пропорційності призводить до пластичної деформації матеріалу: довжина зразка при цьому збільшується без помітного підвищення навантаження (див. рис.4.3, відрізок **ВГ**).

Відповідну такому стану матеріалу напружину називають **фізичною межею текучості**. Після зняття напружини, яка сприяла пластичній деформації, розміри зразка відрізняються від вихідних: довжина збільшується в напрямку вектора прикладеної навантаги, а площа поперечного перерізу зменшується.

Межа текучості установлює межу між пружною і пружно-пластичною зонами деформування. Навіть незначні збільшення навантаги вище межі текучості сприяють значним деформаціям.

Межу текучості визначають за діаграмою розтягування, а також за явною зупинкою стрілки силовимірювача.

Для металів і сплавів, які не мають на діаграмі площадки текучості (відрізок **ВГ**), приймають умовну межу текучості – напружини, при яких залишкова деформація зразка досягає певного значення, установленого нормативним документом. Допуском для залишкової деформації під час розтягування прийнято залишкове подовження 0,2%.

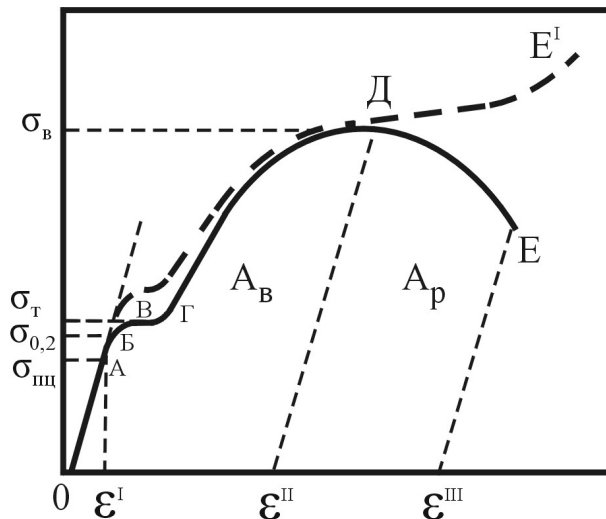


Рис.4.3. Діаграма розтягування зразка

за точкою **Г**, спостерігається підняття кривої розтягування (відрізок зміцнення). До точки **Д** подовження зразка здійснюється рівномірно. Найбільша навантага, яка призводить до руйнування зразка, відповідає

Цю величину називають **умовною межею текучості**:  $\sigma_{0,2} = R_{0,2} \cdot F_0$ , де  $R_{0,2}$  – навантага, що дорівнює умовній межі текучості (див. рис.4.3).

Після збільшення напружин понад межу текучості під час розтягування зразка внаслідок сильної деформації здійснюється зміцнення металу (змінюється його структура і властивості) і опір деформації збільшується, тому за відрізком текучості **ВГ** (див. рис.4.3), тобто

точці Д і позначається  $R_{\text{макс}}$ . Точка Д характеризує максимальні напружини, які виникають у процесі випробовування зразка. Їх називають тимчасовим опором розриванню.

**Тимчасовий опір розриванню,  $\sigma_b$**  – це напружини, які визначають як відношення сили, що діє на зразок, до його вихідного поперечного перерізу і відповідає найбільшій навантазі  $R_{\text{макс}}$ , що передуює руйнуванню зразка:  $\sigma_b = R_{\text{макс}}/F_0$ . Тимчасовий опір розриванню є найважливішою конструкційною характеристикою будь-якого металу або сплаву.

У момент, який відповідає максимальній навантазі  $R_{\text{макс}}$ , на зразку з'являється помітна зміна його діаметра (утворюється шийка).

Якщо до цього моменту зразок мав циліндричну форму, то тепер його розтягування зосереджується на відріжку шийки.

Відріжку ДЕ відповідає швидке зменшення перерізу шийки, внаслідок чого навантага, що розтягує зразок, зменшується, хоча напружини ростуть, оскільки площа перерізу шийки менша площі перерізу робочої частини зразка у вихідному стані.

Подальша деформація призводить до звужування шийки і зразок розривається в місці найменшого перерізу, де напружини дійсно досягають найбільшого значення.

Таким чином, наростання пластичної деформації під час розтягування зразка здійснюється поетапно: рівномірна пластична деформація до точки Д і місцева пластична деформація від точки Д до точки Е – моменту руйнування зразка. Зусилля в точці розривання зразка позначають  $R_K$ . Відношення цього зусилля до дійсної площі перерізу у місці розриву  $F_K$  називають **істинним опором розриванню**:  $S_K = R_K / F_K$ .

Для пластичних металів і сплавів  $\sigma_b$  є характеристикою опору пластичної деформації, а для крихких - характеристикою опору руйнуванню.

Важливою характеристикою металів і сплавів, яка супроводжує пластичну деформацію, є відносне подовження.

**Відносне подовження,  $\delta$**  – це відношення приросту розрахункової довжини зразка після розривання  $\Delta l = l_K - l_0$  до початкової розрахункової довжини  $l_0$  у відсотках:  $\delta = (l_K - l_0 / l_0) \cdot 100$ .

Другою характеристикою пластичності металу є відносне звуження перерізу зразка після його розривання (у відсотках).

**Відносне звуження,  $\psi$**  – це відношення різниці початкової площі і мінімальної площі поперечного перерізу зразка в місці розриву до початкової площі поперечного перерізу зразка:  $\psi = (F_0 - F_K / F_0) \cdot 100$ .

Оцінка пластичних властивостей металів і сплавів має велике значення, оскільки при цьому визначається їх опір пластичній деформації. Це дає можливість визначити напружини, які можна допустити, щоб деталь працювала без пластичної деформації, тобто метал не змінював свої властивості під дією зовнішніх сил.



Серед динамічних випробовувань найбільш поширеними є випробовування на ударний згин, яким визначають схильність металу до крихкого руйнування. Метод заснований на руйнуванні зразка з надрізом посередині одним ударом маятнікового копра. У результаті випробовувань визначають повну роботу, витрачену під час удару (роботу удару), або ударну в'язкість. Для випробовувань використовують маятнікові копори з різною межевою енергією удару – від 4,9 Дж до 294 Дж. Швидкість руху маятника в момент удару знаходиться в межах 3...5 м/с.

Найбільше поширення знайшли зразки з розмірам  $H=B=10$  мм і довжиною 55 мм. Зразки виготовляють з надрізом однієї із граней посередині його довжини, рис.4.4. Для контролю матеріалу виливків відповідального призначення використовують зразки з надрізом типу U (рис.4.5), при виробництві литих деталей підвищеної надійності використовують надрізи типу V, а для особливо відповідальних машин і механізмів, литі деталі в яких працюють в умовах циклічних навантаж, використовують надрізи типу V, у вершині яких методом циклічного згинання утворюють додатковий концентратор у вигляді тріщини T (див. рис.4.5).

Для маловідповідальних литих деталей нормативними документами допускається використовувати зразки без надрізів.

**Ударна в'язкість** – це питома робота, яку треба виконати, щоб зруйнувати зразок. Робота руйнування характеризує експлуатаційну надійність матеріалу в умовах ударних навантаж, особливо коли вироби мають конструктивні або технологічні концентратори напружин (отвори, гострі спряження стінок, тріщини, неметалеві вкраплини тощо).

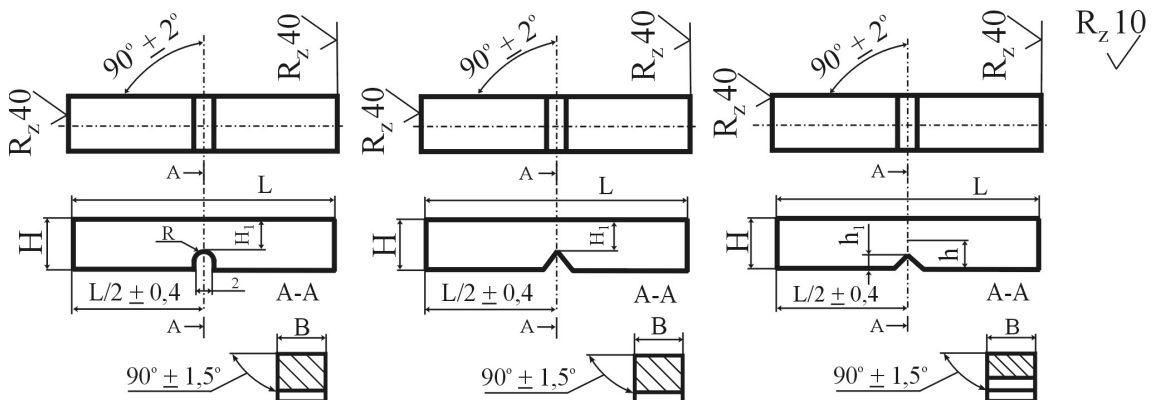


Рис.4.4. Зразки для визначення ударної в'язкості металевих матеріалів

Робота руйнування зразка дорівнює добутку напружин на деформацію металу і чисельно еквівалентна площі, що обмежена лінією

**ОВГДЕЭ<sup>III</sup>О** (див. рис.4.3).

Для того, щоб об'єктивно оцінювати експлуатаційну надійність металу, за наявності у виробках дефектів, тобто коли має місце тільки робота розповсюдження тріщин **А<sub>p</sub>**, яка тим більша, чим більша площа **Э<sup>II</sup>ДЕЭ<sup>III</sup>Э<sup>II</sup>** (див. рис.4.3), необхідно ще до випробовування зразка штучно виконати роботу зародження тріщини **А<sub>з</sub>**, яка еквівалентна площі **ОВГДЕ<sup>II</sup>О** (див. рис.4.3)

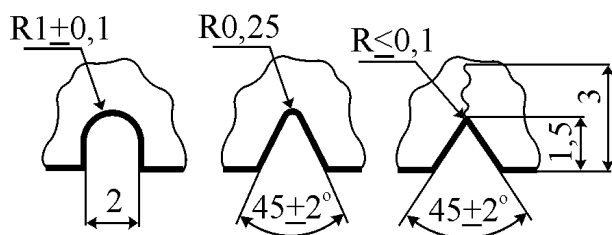


Рис. 4.5. Форма та розміри надрізів

Саме для цього на зразках виконують надрізи. При використанні найскладнішого за виконанням надрізу з фізичною тріщиною типу **Т** (див. рис.4.5) ударна в'язкість, яка позначається індексом **КСТ**, характеризує роботу розповсюдження

тріщини, **А<sub>p</sub>**, у металі. Менш складний за виконанням надрізу типу **V** і ще простіший типу **U** характеризують не тільки роботу розповсюдження тріщини **А<sub>p</sub>**, але і частково зародження тріщини **А<sub>з</sub>**. Визначену ударну в'язкість з використанням таких зразків позначають відповідно **КСV** і **КСU**. Ударну в'язкість сплаву, яка визначена на зразках без надрізу, позначають індексом **КС**.

Отже ударна в'язкість **КС** (**КСU**, **КСV**, **КСТ**) – це робота, яка витрачена на деформацію і руйнування ударним згинанням ненадрізаного або надрізаного зразка, віднесена до площі його поперечного перерізу в місці руйнування:

$$КС(КСU, КСV, КСТ) = \frac{A}{S_0}, \quad (4.1)$$

де **A** – робота, яка витрачена на руйнування зразка, Дж;

**S<sub>0</sub>** – площа поперечного перерізу зразка в місці надрізу (або без надрізу) до випробовування, м<sup>2</sup>:

$$\left. \begin{aligned} S_0 &= H_1 \cdot B \\ S_0 &= H \cdot B \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

де **H<sub>1</sub>**, **H** – початкова висота робочої частини зразка з надрізом та без надрізу відповідно, м;

**B** – товщина зразка, м.

Перед початком випробовувань маятник копра піднімають на максимальну висоту **H** і фіксують засувкою, рис.4.6. У цьому положенні вісь маятника і стрілка його шкали повертаються на кут **α**. Зразок установляють на опори копра за допомогою шаблона так, щоб ніж маятника

знаходився точно проти надрізу з протилежного боку зразка, рис.4.7.

Після установа зразка засувку відсовують, маятник падає, руйнує зразок і з іншого боку від вертикальної осі копра підіймається на деяку висоту  $h$  і відхиляється на кут  $\beta$ , який фіксується іншою стрілкою шкали (див. рис.4.6).

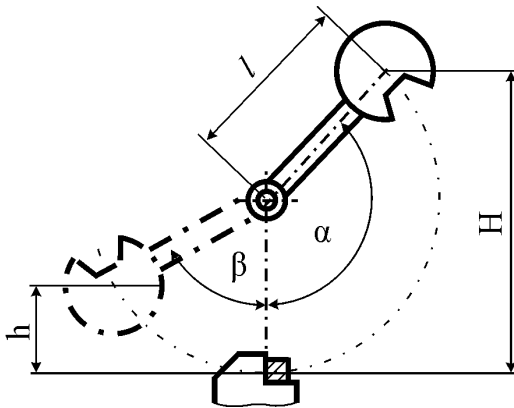


Рис. 4.6. Схема роботи маятничого копра

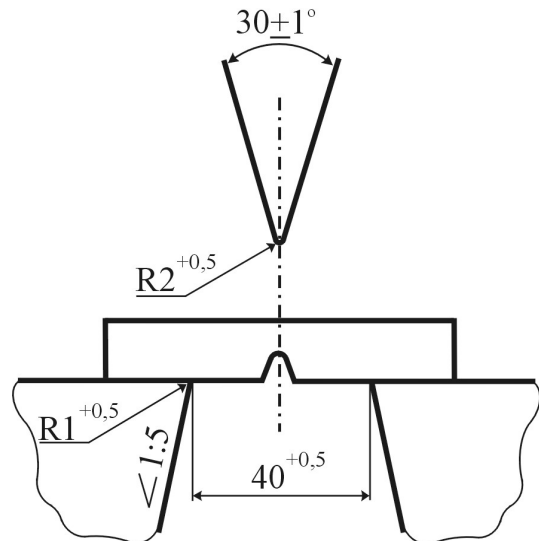


Рис. 4.7. Схема установа зразка перед випробовуванням

В момент удару маятник має потенціальну енергію і здатний виконати роботу:

$$A_1 = M \cdot g \cdot H, \quad (4.3)$$

де  $M$  – маса маятника, кг;

$H$  – початкова висота підняття маятника, м;

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Після зруйнування зразка, внаслідок підняття маятника на висоту  $h$ , ним виконується робота:

$$A_2 = M \cdot g \cdot h, \quad (4.4)$$

Різниця між цими роботами і є робота, яка витрачена маятником на руйнування зразка:

$$A = A_1 - A_2 = M \cdot g \cdot (H - h) = M \cdot g \cdot l (\cos \alpha - \cos \beta), \quad (4.5)$$

де  $l$  – довжина плеча маятника, м.

Оскільки добуток  $M \cdot g \cdot l$  у формулі (4.5) є величина стала, то роботу руйнування  $A$  визначають за косинусоїдальною шкалою копра як різницю кутів  $\alpha$  і  $\beta$ , використовуючи дві стрілки.

Для визначення ударної в'язкості в умовах низьких або підвищених температур вводять індекс, який указує температуру випробовування, наприклад,  $KV^{40} 50/2/10$  – температура –  $40^{\circ}C$ , енергія удару - 50 Дж, глибина концентратора - 2 мм, ширина зразка - 10 мм.

**Твердість** – це здатність металу або сплаву чинити опір місцевій контактній дії зовнішніх сил, пластичній деформації або крихкому руйнуванню в поверхневому шарі виробу (зразка) в означених умовах випробовувань.

Випробовування металів на твердість використовують досить широко через їх простоту, малу тривалість досліджень, відсутність руйнування об'єкта, який контролюють, і можливість випробовувань матеріалів, що мають різні властивості.

Проте відсутність чітких теоретичних залежностей твердості від фізичних властивостей металів не дає можливості установити зв'язок одиниць твердості з основними одиницями системи СІ, **тому одиниці твердості одного сплаву, визначені різними методами, є умовними безрозмірними величинами і тільки приблизно порівнянні між собою.**

Усі існуючі методи визначення твердості можна поділити на **статичні і динамічні.**

Практичне використання в умовах виробництва та під час виконання науково-дослідних робіт знайшли статичні методи: із застосуванням сталеві кульки (метод Бринелля), алмазного конуса або сталеві кульки (метод Роквелла), алмазної піраміди (метод Віккерса).

Із динамічних методів найчастіше використовують методи вимірювання твердості за Шором і Польді (переважно для визначення твердості металу великих виливків (деталей), коли застосовувати статичні методи неможливо).

**Визначення твердості за методом Бринелля** виконують вдавлюванням сталеві кульки (індентора) діаметром **D** у поверхню виробу або зразка під дією навантаги **P**, прикладеної перпендикулярно до випробовуваної поверхні протягом певного часу і подальшим визначенням діаметра відбитка **d** після зняття навантаги.

Для визначення твердості використовують стаціонарні твердоміри (преси Бринелля) типу ТБ, схема якого наведена на рис.4.8.

Випробовування зразків (деталей, виливків) здійснюють за такою послідовністю операцій: досліджуваний зразок установлюють на столику 22, вмонтованому в нижню нерухому частину станини 17, зашліфованою частиною доверху. Поворотом вручну маховика 20 за годинниковою стрілкою столик приладу піднімається за допомогою гвинта 21 до упора 23. Нажиманням на кнопку 19 включають електродвигун 12. Електродвигун через редуктор 16 і систему важелів 13, 9 і 7 опускає великий вантажний важіль 6 (коромисло) і поступово через важелі 6 і 4 здійснює навантаження шпинделя 2, а отже, і вдавлювання кульки, закріпленої в оправці

1, у випробовуваний зразок під дією навантаги, яка передається через підвіску 10 і коромисло 6 від набору вантажів 11.

Відношення плеч важеля 4 дорівнює 1:4, а важеля 6 – 1:10. Загальне відношення плечей важелів буде дорівнювати  $4 \cdot 10 = 40$ . Набір вантажів з підвіскою має власну масу 75 кг (735 Н), але завдяки важелям 4 і 6 із співвідношення 1:40 зусилля на кульку діаметром 10 мм буде складати  $75 \cdot 40 = 3000$  кг (29430 Н).

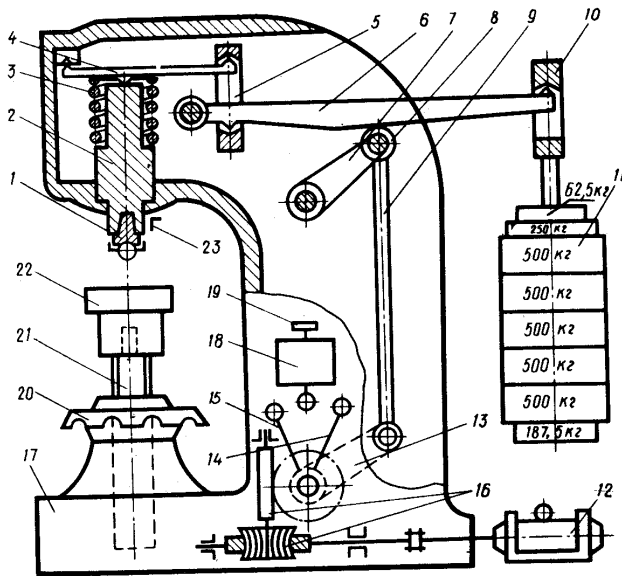


Рис.4.8. Прилад Бринелля з механічним рушієм: 1 – оправка з кулькою; 2 – шпindelь; 3 – пружина; 4 – малий вантажний важіль; 5 – сержка; 6 – великий вантажний важіль; 7 – коливний важіль; 8 – опорний ролик; 9 – шток; 10 – підвіска для вантажів; 11 – вантажі; 12 – електродвигун; 13 – кривошип; 14 – нерухомий упор автоматичного вимикача; 15 – рухомий упор автоматичного вимикача; 16 – черв'ячний редуктор; 17 – станина приладу; 18 – перемикач; 19 – пускова кнопка; 20 – маховик з гайкою; 21 – піднімальний гвинт; 22 – столик для плоских зразків; 23 – нерухомий упор

Для створення інших навантаг підбирають відповідні вантажі на підвісці.

Навантага зберігається протягом певного часу, після якого електродвигун за допомогою перемикача 18, обертаючись у зворотний бік, переміщує важіль 6 і знімає навантагу.

Після автоматичного вимикання електродвигуна, повертаючи вручну маховик 20 з гайкою проти годинникової стрілки, опускають столик приладу і знімають зразок.

Тривалість витримання зразка або деталі під навантагою регулюють за допомогою кінцевих перемикачів, установлених на осі редуктора.

Для вимірювання твердості металів і сплавів за методом Бринелля використовують також прилад БТБ-11-3, загальний вигляд якого і схема випробовування зразка наведені на рис.4.9.

У порівнянні з приладами типу ТБ твердомір БТБ-11-3 має переваги: більший за розмірами робочий простір і механізована схема випробувальних навантаг.

Висока точність вимірювання розмірів відбитка забезпечується використанням відліково-проекційної оптичної системи.

Контрольований виріб 2 установлюють на столик 1 і притискають до упора. За допомогою рушія 7 через важелі 6, 5 і шпиндель 3 навантага передається на наконечник, який заглиблюється у виріб.

Після певного витримування випробувальна навантага знімається і вимірюється діаметр одержаного відбитка на екрані 4 вимірювальної головки.

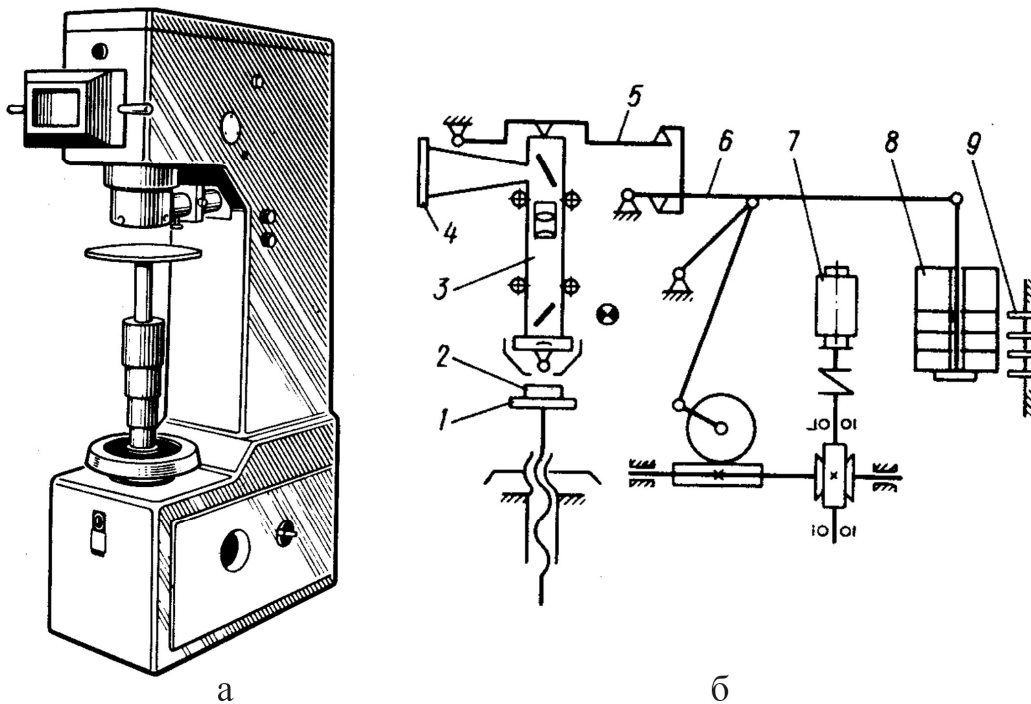


Рис.4.9. Прилад БТБ-11-3 для вимірювання твердості за методом Бринелля: а – загальний вигляд; б – схема випробовування зразка: 1 – столик; 2 – контрольований зразок; 3 – шпиндель; 4 – екран; 5, 6 – важелі; 7 – електродвигун з редуктором; 8 – вантажі; 9 – штирі

Навантагу підбирають і створюють вантажами 8. Зміну навантаги здійснюють за допомогою штирів 9. Діапазон вимірювань твердості на приладі від 80 до 450 НВ.

Під час вдавлювання кулька утворює на поверхні зразка сферичний відбиток (рис.4.10, а), діаметр якого вимірюють після зняття зразка із столика приладу за допомогою спеціального відрахункового мікроскопа (рис.4.11), на окулярі якого нанесена шкала з поділками (рис.4.10, б).

Кожна поділка відповідає десятій частині міліметра. Діаметр відбитка необхідно вимірювати з точністю до 0,05 мм при використанні кульок діаметром 10 і 5 мм у двох взаємно перпендикулярних напрямках і визначати середнє значення одержаних розмірів.

Відповідно до умов випробовування і за середнім розміром

відбитка твердість визначають за допомогою таблиць, [16], які додають до технічної документації на прилад.

Твердість НВ визначають за формулою:

$$HB = \frac{0,102 \cdot P}{F} = \frac{0,102 \cdot 2P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (4.6)$$

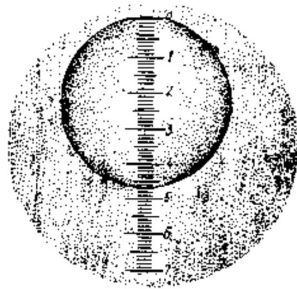
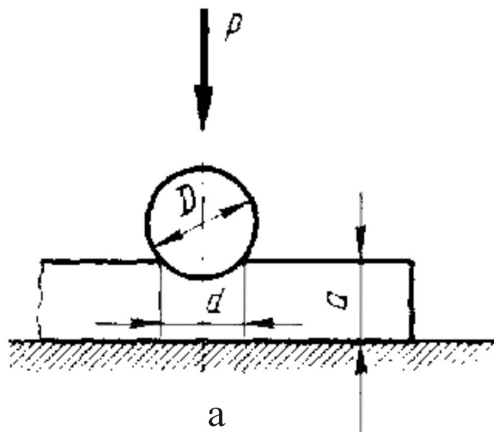
де  $P$  – навантага, Н ( $1\text{Н} = 0,102$  кгс);

$F$  – площа сфери відбитка,  $\text{мм}^2$ :

$$F = \frac{\pi D}{2} \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2}), \quad (4.7)$$

$D$  – діаметр кульки, мм;

$d$  – діаметр відбитка, мм.



б

Рис.4.10. Визначення твердості за методом Бринелля: а – схема одержання відбитка; б – вимірювання відбитка за шкалою мікроскопа

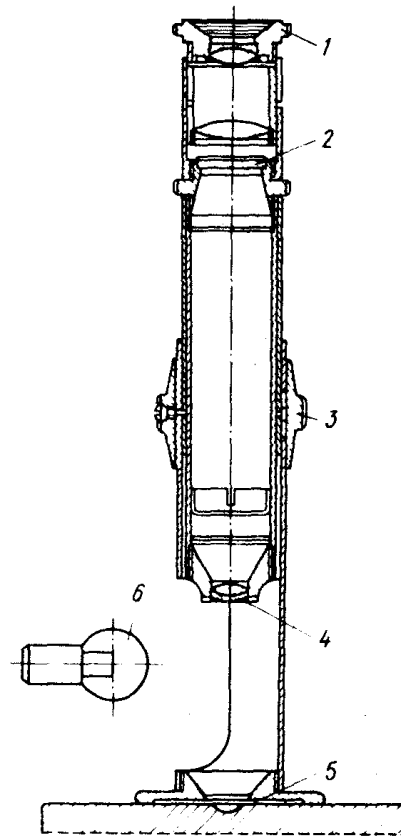


Рис.4.11. Відрахунковий мікроскоп МПБ-2: 1 – окуляр; 2 – сітка; 3 – установлювальне кільце; 4 – об’єктив; 5 – вимірюваний відбиток; 6 – джерело світла

Як індентори використовують кульки діаметром 10,0; 5,0; 2,5; 2,0

та 1,0 мм, виготовлені із загартованої сталі ШХ15. Твердість таких кульок досягає 650 НВ.

Метали або сплави, твердість яких перевищує 450 НВ, випробовують іншими методами з використанням алмазного індентора.

Твердість металу, визначену за методом Бринелля (умови випробування: діаметр кульки  $D = 10$  мм, навантага  $P = 3000$  кгс (29430 Н) і тривалість витримування під навантагою 10...15 с) позначають цифрами, які характеризують твердість, та літерами НВ, наприклад, 240 НВ.

За інших умов випробовувань після літер НВ указують умови випробовувань у такій послідовності:  $D, P$  та тривалість витримування під навантагою, наприклад, 240 НВ 5/750/20.

Сталу і однакову залежність між навантагою і діаметром відбитка, необхідну для точного визначення твердості, можна досягти тільки після враховування таких умов:

- під час вдавлювання кульки на різну глибину, тобто з використанням різної навантаги для одного і того ж матеріалу, не зберігається закон подібності між діаметрами відбитків, тому вимірювання твердості здійснюють при сталому співвідношенні між навантагою  $P$  і квадратом діаметра кульки  $D^2$ . Це співвідношення різне для металів неоднакової твердості;

- у процесі вдавлювання кульки в метал разом з пластичною деформацією випробовуваного матеріалу здійснюється також пружна деформація кульки, яка спотворює результати вимірів і тим більше, чим твердіший випробовуваний матеріал. Крім того, при твердості НВ  $> 450$  спостерігається пластична деформація кульки, тому метод Бринелля слід використовувати для випробовувань матеріалів невисокої і середньої твердості (не вище 450 НВ);

- для металів з низькими температурами плавлення (свинець, цинк, бабіти тощо), які піддаються пластичній деформації не тільки під час вдавлювання кульки, але і протягом деякого часу після прикладання навантаги, необхідне більш тривале витримування під навантагою, ніж для металів з високими температурами плавлення, для яких вплив тривалості витримування під навантагою незначний.

Визначення твердості здійснюють з використанням навантаг, які залежать від коефіцієнта  $K = 0,102P / D^2$ .

Для заліза, сталі, чавуну і інших високоміцних матеріалів з твердістю НВ від 96 до 450 коефіцієнт  $K = 294$  Н/мм<sup>2</sup> (30 кгс/мм<sup>2</sup>); для міді, нікелю та їх сплавів з НВ від 32 до 200 –  $K = 98$  Н/мм<sup>2</sup> (10 кгс/мм<sup>2</sup>); для алюмінію, магнію і їх сплавів з НВ від 16 до 100 – коефіцієнт  $K = 49$  Н/мм<sup>2</sup> (5 кгс/мм<sup>2</sup>); для підчипникових сплавів з НВ від 8 до 50 –  $K = 24,5$  Н/мм<sup>2</sup> (2,5 кгс/мм<sup>2</sup>); для олова і свинцю з НВ від 3,2 до 20 –  $K = 9,8$  Н/мм<sup>2</sup> (1 кгс/мм<sup>2</sup>).



Під час вимірювання твердості за Бринеллем необхідно виконувати такі умови:

- плавно збільшувати навантагу до необхідного значення;
- навантага  $P$  протягом устанавленного часу вимірювання не повинна змінюватися;
- дія навантаги повинна бути перпендикулярною до поверхні контрольованого виробу;
- для вимірювання діаметра відбитка з вимоговою точністю поверхня контрольованого виробу повинна бути плоскою, чистою і гладенькою, щоб крайка відбитка була чіткою;
- опорні поверхні зразка і столика приладу повинні бути очищені від сторонніх речовин;
- зразок повинен лежати на столику усталено, щоб він не міг зміститись під час вимірювання твердості;
- мінімальна товщина випробовуваного зразка повинна бути не меншою за 10-кратну глибину відбитка або обумовленою технічними умовами.

За визначеною твердістю можна розрахувати приблизну глибину відбитка за формулою:

$$h = \frac{0,102 \cdot P}{\pi D \cdot HB} \quad (4.8)$$

Вимірювання твердості необхідно здійснювати так, щоб відстань від центрів відбитків до крайки зразка була не менше  $2,5d$ , а між центрами двох суміжних відбитків – не менше  $4d$ ; для металів з  $HB < 350$  – відповідно  $3d$  і  $6d$ .

У випадку вимірювання твердості зразків або деталей з кристалічною поверхнею довжина і ширина підготовленої плоскої поверхні повинна бути не менше 20 мм при  $D = 10$  мм; 10 мм – при  $D = 5$  мм і 5 мм – при  $D = 2,5$  мм.

Після кожної заміни кульки і перед вимірюванням твердості певної кількості виробів прилад необхідно перевіряти за допомогою робочих зразків твердості або зразкових динамометрів.

Метод Бринелля не використовують для матеріалів, твердість яких перевищує 450 HB та для таких виробів, що мають товщину менше 2 мм.

**Твердість за Роквеллом** визначають з використанням стандартних інденторів: сталевий загартованої кульки діаметром 1/16 дюйма (1,58 мм) – для визначення твердості за шкалою **B** або алмазного конуса з кутом біля вершини  $120^\circ$  – для визначення твердості за шкалами **A** і **C**.

Сутність методу полягає в наступному: навантагу на індентор прикладають у два етапи – попередню  $P_0$  та загальну  $P$ , яка дорівнює сумі попередньої  $P_0$  та основної  $P_1$  навантаг, рис.4.12.

Попередня навантага стала і дорівнює 98 Н, а основна складає 490

Н, 883 Н, 1471 Н при визначенні твердості відповідно за шкалами **A**, **B** і **C**.

Під дією попередньої навантаги  $P_0$  індентор вдавлюється у випробовуваний виріб (зразок) на незначну глибину  $h_0$ . Під дією загальної навантаги  $P = P_0 + P_1$  індентор вдавлюється на глибину  $h'$ . Після зняття основної навантаги  $P_1$ , але при збереженні попередньої  $P_0$ , індентор під дією пружних сил металу приймає положення, яке відповідає глибині  $h$ .

Твердість за Роквеллом виражають в умовних одиницях, які є різницею глибин вдавлювання індентора під дією попередньої та основної навантаг. За одиницю твердості приймають величину, яка відповідає осьовому переміщенню індентора на 0,002 мм.

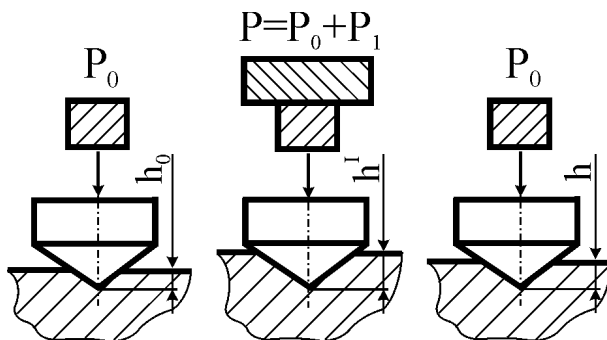


Рис. 4.12 Схема визначення твердості за Роквеллом

Твердість за Роквеллом визначають безпосередньо за шкалою приладу. Це є основним позитивним показником методу.

Характеристики шкал **A**, **B** і **C** наведені в табл.4.1.

Шкалу **A** використовують під час випробовування твердих сплавів, твердого листового металу і для визна-

чення твердості тонкого поверхневого шару; шкалу **C** – під час випробовування твердих металів і сплавів; шкалу **B** – під час випробовування металів середньої твердості.

Твердість за Роквеллом можна визначити за формулами:

$$\text{HRA(HRC)} = 100 \frac{h - h_0}{C}, \quad (4.9)$$

$$\text{HRB} = 130 \frac{h - h_0}{C}, \quad (4.10)$$

де  $C$  – осьове переміщення індентора = 0,002 мм.

Твердість матеріалів за методом Роквелла визначають на стаціонарних твердомірах типу ТР (рис.4.13) з механічним і електричним рушієм (ТК-2М, ТК-14-250). Схема приладу ТК-2М наведена на рис.4.14.

Підготовлений зразок установлюють на столик 10 зашліфованою поверхнею доверху. Поворотом маховика 11 з гвинтовою гайкою вручну за годинниковою стрілкою столик приладу піднімають так, щоб наконечник почав вдавлюватися в поверхню випробовуваного зразка; під час подальшого піднімання столика починає обертатися стрілка індикатора 7. На циферблаті індикатора (рис.4.13, б) нанесені дві шкали (чорна, яка суміщує **C** з **A** і червона **B**).

Індикатор має дві стрілки: велику (покажчик твердості), яка обертається і показує відповідну твердість, і малу – для контролю величини попередньої навантаги, яка виникає внаслідок обертання маховика 11.

Піднімання столика, яке збільшує вдавлювання наконечника 9 у зразок, здійснюють до тих пір, поки мала стрілка не займе положення, вказане на циферблаті червоною точкою. Це буде означати, що наконечник повністю вдавлюється в зразок під дією попередньої навантаги  $P_0$ , яка дорівнює 98 Н (10 кгс).

Таблиця 4.1. Характеристика шкал приладу Роквелла

Позначка		Тип індентора	Навантага, Н		Межі вимірів в одиницях твердості за Роквеллом, HR	Відповідні набліжені значення твердості за Віккерсом, HV
шкали	твердості		попередня, $P_0$	загальна, P		
B	HRB	Сталева кулька	98	981	25...100 HRB	60...240
C	HRC	Алмазний конус	98	1569	20...67 HRC	240...900
A	HRA	Так само	98	588	70...85 HRA	390...900

Попередню навантагу здійснюють для того, щоб позбавитись впливу пружної деформації і різного ступеня шорсткості контрольованої поверхні на результати вимірювань.

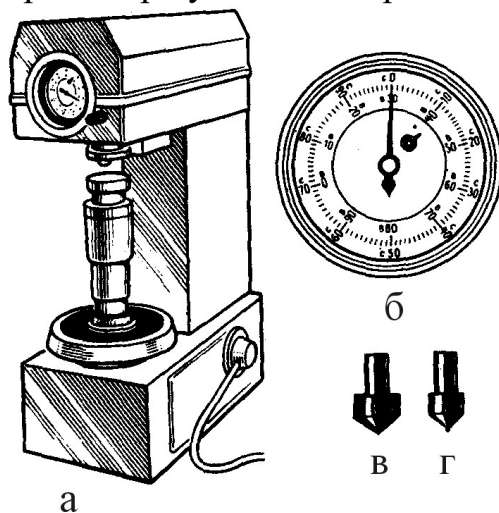


Рис.4.13. Прилад для вимірювання твердості за Роквеллом: а – загальний вигляд приладу; б – шкала приладу; в – наконечник з алмазним конусом; г – пружина;

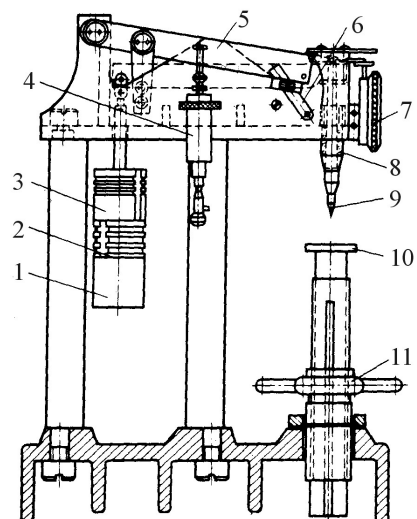


Рис.4.14. Конструкція приладу ТК-2М: 1, 2, 3 – вантажі; 4 – амортизатор; 5 – важіль; 6 – рукоятка; 7 – індикатор; 8 – пружина; 9 – наконечник; 10 – маховик; 11 – індикатор.

– наконечник із сталевою кулькою – столик; 11 – маховик

Коли зразок навантажують попередньо навантагою в 98 Н, велика стрілка на циферблаті займає вертикальне положення або близьке до нього.

Для одержання точного результату вимірювання необхідно, щоб велика стрілка указувала на цифру 0 чорної шкали циферблата; якщо положення цієї стрілки не співпадає точно з цифрою 0, то, не змінюючи попередньої навантаги, повертають шкалу індикатора до співпадання великої стрілки з цифрою 0.

Після цього звільняють рукою рукоятку 6 і вона плавно за допомогою оливкового амортизатора 4 переміщується до упора. Переміщення рукоятки передає на випробовуваний зразок через важіль 5 основну навантагу  $P_1$ , яка залежить від маси вантажів 1, 2, 3, приладнаних до важеля.

Під час здійснення цієї навантаги (3...6 с.) велика стрілка переміщується проти годинникової стрілки. Після завершення цієї операції рукоятку приладу плавно переводять у вихідне положення і цим знімають основну навантагу через 1...3 с після різкого уповільнення руху стрілки індикатора, але залишають попередню  $P_0$ . Велика стрілка при цьому переміщується за напрямком годинникової. Цифра, на якій зупиниться велика стрілка, і є число твердості за Роквеллом. Ця цифра фіксується. Результат вимірювання твердості визначають під час дії на наконечник попередньої навантаги  $P_0$ . Повертаючи маховик 11 проти годинникової стрілки, опускають столик приладу із зразком і знімають попередню навантагу.

Алмазний конус, який використовують для вимірювання твердості за методом Роквелла, повинен мати кут біля вершини  $120^\circ \pm 30'$  і заокруглену вершину з радіусом сфери  $0,20 \pm 0,05$  мм.

Сталева кулька, яку використовують для вимірювання твердості за методом Роквелла, повинна відповідати таким вимогам: твердість – не менше 850 HV, діаметр – 1,588 мм.

Мінімальна товщина виробу, який випробовують, повинна бути не менше 8-кратної глибини проникнення наконечника в метал після зняття основної навантаги  $P_1$ .

Мінімальна товщина випробовуваного виробу, залежно від передбачуваної твердості, наведена в табл.4.2.

Відстань між центрами двох суміжних відбитків або від центра будь-якого відбитка до крайки зразка повинна бути не меншою 3 мм.

Під час прикладання попередньої навантаги  $P_0$  зразок повинен переміщуватися тільки в одному напрямку, зближуючись при цьому з наконечником. Якщо попередня навантага вийшла за межі допуску, що відповідає відхиленню стрілки індикатора від вертикального положення більше ніж на п'ять поділок шкали, тоді попередню навантагу знімають, а твердість вимірюють в іншій точці зразка.

У випадку вимірювання твердості металів, які схильні до значного пластичного деформування під дією загальної навантаги  $P$ , допускається

подовжити витримування до 10, 30 або 60 с, а в результатах вимірювань твердості указати відповідний час. Відлік результатів вимірювання твердості здійснюють у цілих поділках шкали індикатора.

Таблиця 4.2. Залежність мінімальної товщини виробу від твердості

Інд. поз.	Найменування шкали	Твердість за Роквеллом	Мінімальна товщина виробу, мм
1	A	70	0,7
2	A	80	0,5
3	A	90	0,4
4	B	25	2,0
5	B	30	1,9
6	B	40	1,7
7	B	50	1,5
8	B	60	1,3
9	B	70	1,2
10	B	80	1,0
11	B	90	0,8
12	B	100	0,7
13	C	20	1,5
14	C	30	1,3
15	C	40	1,2
16	C	50	1,0
17	C	60	0,8
18	C	67	0,7

Для визначення достовірної твердості на кожному зразку повинно бути виконано не менше трьох вимірювань.

Перші два виміри після заміни наконечника або опор для зразків не враховують.

Прилади для вимірювання твердості за методом Роквелла перевіряють за допомогою зразків твердості, які входять у комплект приладу, після кожної заміни наконечника, робочого столика, а також перед вимірюванням твердості великої кількості виробів.

Для визначення твердості тонких виробів або покриттів (товщиною меншою 0,3 мм) метод Роквелла не використовують, оскільки алмазний конус проникає на глибину, яка перевищує товщину вимірюваного шару, і показує твердість металу, що знаходиться під досліджуваним покриттям.

Для вимірювання твердості тонких виробів і поверхневих шарів використовують прилади з вищою чутливістю (ТКС-14-250 типу Супер-Роквелла) і меншими навантагами. Попередня навантага дорівнює 29 Н (3 кгс), загальні навантаги – 147; 294 і 441 Н (15; 30 і 45 кгс), а кожна поділка

індикатора відповідає глибині проникнення, рівній 0,001 мм. Прилади, на відміну від описаних вище, оснащені електродвигуном.

Сутність методу визначення **твердості за Віккерсом** полягає в тому, що в поверхню виробу, який випробовують, вдавлюється правильна чотиригранна піраміда з квадратною основою та кутом між протилежними гранями  $136^\circ$ , рис.4.15.

Під дією статичних навантаж (від 9,8 до 980 Н) протягом певного часу (10...60 с) алмазна піраміда заглиблюється в поверхню виробу або зразка, які випробовують.

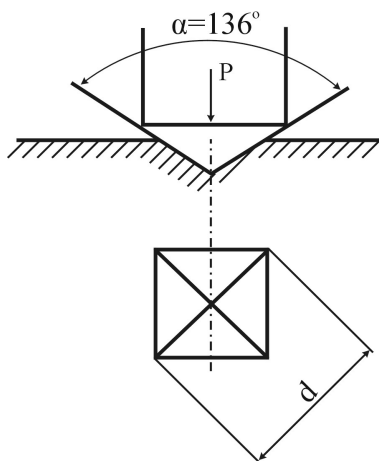


Рис. 4.15. Схема визначення твердості за Віккерсом

(4.11)

Після зняття навантаги збільшене зображення пірамідального відбитка оптично проектується на матове скло приладу. За допомогою барабанного окуляр-мікрометра або іншої оптико-виміральної системи визначають дві діагоналі відбитка і розраховують середнє їх значення **d**.

Твердість визначають як відношення стандартної навантаги **P** до площі **F** поверхні пірамідального відбитка за формулою:

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

Твердість також можна визначати за таблицями (ГОСТ 2999-75).

Для випробовувань нормативний документ рекомендує використовувати такі навантаги: 49 Н; 98,1 Н; 196,2 Н; 294 Н; 490 Н; 981 Н і 1177 Н (5; 10; 20; 30; 50; 100 і 120 кгс). З метою збільшення точності вимірів треба користуватися максимальними навантагами, при яких зображення відбитка займає значну площу матового скла приладу, але не виходить за його межі.

Метод Віккерса дає можливість визначити найбільш високу твердість (до HV 2500) і рекомендується, переважно, для виробів з твердих металів і сплавів, а також деталей, які мають незначні перерізи стінок або тонкі тверді покриття після цементації чи азотування.

Для вимірювання твердості за методом Віккерса частіше використовують прилад ТП-7Р-1, загальний вигляд якого наведений на рис.4.16. Випробовувальні навантаги складають 49; 98; 196; 294; 490 і 981 Н.

Рушій приладу демпферного типу, що дає можливість регулювати швидкість підведення індентора до випробовуваного виробу.

Прилад оснащений проекційною оптичною системою, яка забезпечує вимірювання діагоналі на екрані відрахунково-мікрометричного пристрою.

Конструкція приладу забезпечує автоматичну зміну положення об'єктиву і наконечника перед і після нанесення відбитка. Прилад має такі основні механізми, які змонтовані усередині литого корпусу: шпindel 16, мікрометричну головку 20, вантажний важіль 21, вантажну підвіску 29, демпфер 33, механізм піднімання 5 стола і панель 27 з електроапаратурою.

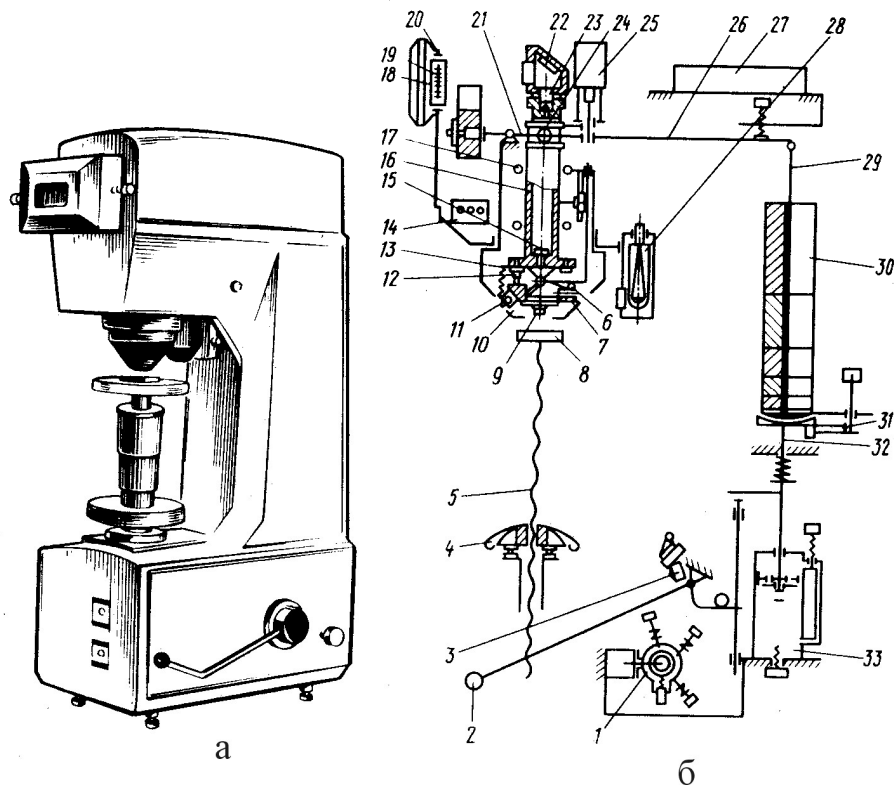


Рис.4.16. Прилад ТП-7Р-1 для вимірювання твердості металів за методом Віккерса: а – загальний вигляд; б – схема випробовування: 1 – реле часу; 2 – рукоятка; 3 – мікроперемикач; 4 – маховик; 5 – механізм піднімання; 6 – упор; 7 – каретка; 8 – предметний столик; 9 – об'єктив; 10 – чохол; 11 – наконечник; 12 – упор; 13 – пружина; 14 – лампочка; 15 – ахроматична лінза; 16 – шпindel; 17 – напрямівні; 18, 19 – шкали; 20 – мікрометрична головка; 21 – важіль; 22 – дзеркало; 23 – окуляр; 24 – підчіпники; 25 – магнет; 26 – важіль; 27 – панель з електроапаратурою; 28 – освітлювач; 29 – підвіска; 30 – вантажі; 31 – контакти; 32 – шток; 33 – демпфер

Шпindel і важільна система призначені для створення і передавання навантаги на випробовуваний зразок. Шпindel виготовлений у вигляді труби, яка розміщена в кулькопідчіпникових напрямівних 17. До нижньої частини шпинделя прикріплена поворотова каретка 7, яка несе

на собі випробовувальний наконечник 11 і об'єктив 9.

Положення каретки регулюють упорами 6 і 12. У вихідному стані каретку установлюють у положення „Об'єктив“.

У шпindelьну трубу вмонтована проєкційна частина оптичної системи, яка призначена для передавання зображення відбитка на екран мікрометричної головки. Оптична система складається із ахроматичної лінзи 15, окуляра 23, дзеркала 22 і об'єктива 9. Шпindelь з'єднаний з важелем 26 підчіпниками 24. Для відтворювання на шпindelі заданої навантаги на важелеві систему навішують вантажі за допомогою підвіски 29 з набором вантажів 30.

Навантагу можна змінювати навішуванням вантажів на підвіску. Демпферна система 33 забезпечує плавне збільшення або зменшення навантаги.

Для контролю часу витримування виробу під навантагою передбачено реле часу 1.

Випробовуваний виріб підводять до наконечника за допомогою механізму піднімання 5.

Після установлення виробу на предметний столик 8, обертанням маховика 4 підтискують зразок до чохла 10. На підвіску установлюють необхідну кількість вантажів.

Повертанням рукоятки 2 звільняють шток 32 демпфера 33, навантага при цьому попадає на магнет 25, за допомогою якого каретка 7 переводиться із положення „Об'єктив“ у положення „Наконечник“.

Шток демпфера і підвіска з вантажем опускаються вниз. Починається дія навантаги – проникнення наконечника у випробовувальний виріб. Після повного прикладання навантаги замикаються контакти 31 і сигнал поступає на реле часу, яке здійснює відрахування часу витримування виробу під навантагою. Після закінчення часу витримування, про що свідчить сигнальна лампочка 14, навантага знімається, вмикається освітлювач 28, мікроперемикач 3 розмикається, вимикає магнет 2 і каретка під дією пружини 13 повертається в положення „Об'єктив“.

Відбиток проєктується через оптичну проєкційну систему на екран мікрометричної головки. Діагоналі відбитка вимірюють за шкалами 18 і 19 у двох взаємно перпендикулярних напрямках і за таблицями визначають твердість в одиницях HV. Діапазон вимірювання твердості таким приладом – від 8 до 2000 HV.

Ціна поділки відрахункового пристрою при збільшенні зображення  $120^x = 0,001$  мм.

**Вимірювання твердості методом ударного відбитка.** Використовують для великих деталей (вилітків) і конструкцій, коли інші методи непридатні.

Для вимірювання твердості використовують прилад (рис.4.17), який складається із корпусу 4, бойка 3, кульки 1 і пружини 2.



У прилад установлюють еталон 5 (сталевий брусок, твердість якого відома), а прилад розташовують на поверхні контрольованого виробу 6. Під час удару молотка по верхній частині бойка 3 (рис.4.17, б) кулька 1 діаметром 10 мм проникає одночасно в контрольовану поверхню і еталон, утворюючи відбитки

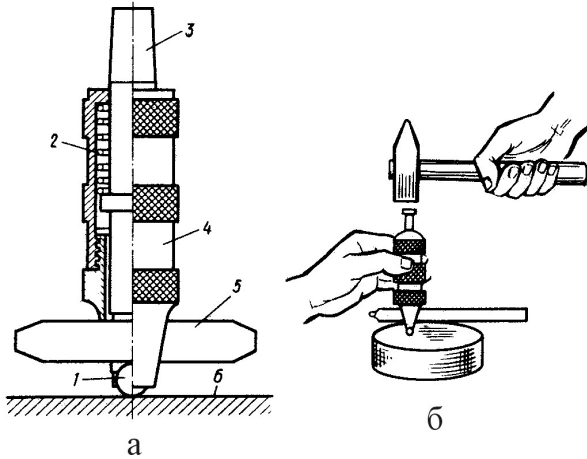


Рис.4.17. Прилад для вимірювання твердості металів методом ударного відбитка: а – конструкція приладу; б – схема визначення твердості; 1 – кулька; 2 – пружина; 3 – бойок; 4 – корпус; 5 – еталон; 6 – контрольований виріб

Для того, щоб визначити твердість, вимірюють діаметри відбитків на виробі і еталоні і порівнюють їх. Твердість поверхні виробу буде тим вищою, чим менший на ній діаметр відбитка в порівнянні з діаметром відбитка на еталоні.

Твердість випробовуваного матеріалу визначають за формулою:

$$HR = He \frac{Fe}{Fd}, \quad (4.12)$$

де  $He$  – твердість еталона в одиницях Бринелля;

$Fe$  – площа поверхні відбитка на еталоні,  $mm^2$ ;

$Fд$  – площа поверхні

відбитка на поверхні досліджуваного виробу,  $mm^2$ .

Твердість  $HR$ , визначену методом ударного відбитка, виражають в одиницях Бринелля.

Для точного визначення твердості матеріалу методом ударного відбитка необхідно дотримуватись умови: твердості еталона і виробу повинні бути близькими між собою. Метод не дає точних значень твердості, оскільки величина відбитків після ударної навантаги змінюється порізно залежно від пружності досліджуваного виробу і еталона. Проте в багатьох випадках визначення твердості методом ударного відбитка задовольняє вимогам технічних умов на виробі.

**Визначення твердості матеріалів методом пружного відскоку (метод Шора).** Твердість оцінюють в умовних одиницях, пропорційних висоті відскоку бойка.

Вимірювання твердості здійснюють на спеціальному приладі (рис.4.18).

У затиску 6 станини 7 на необхідній висоті закріплюють трубку 3. Усередині трубки може вільно падати бойок з алмазним наконечником у вигляді конуса масою 2,5 г.

Під час випробовування трубку опускають до упора на контрольовану деталь 1. Після повертання рукоятки 4 на підготовлену поверхню деталі з висоти  $H$  (рис.4.18, б) падає бойок і відскакує від неї на висоту  $h$ .

Під час падання бойка масою  $g$  з висоти  $H$  енергія удару буде дорівнювати  $A_1 = H \cdot g$ , яка частково витрачається на необоротний процес пластичної деформації, а та енергія, що лишилася, витрачається на пружну деформацію, яка повертається бойку у вигляді енергії пружного відскоку  $A_2 = h \cdot g$ .

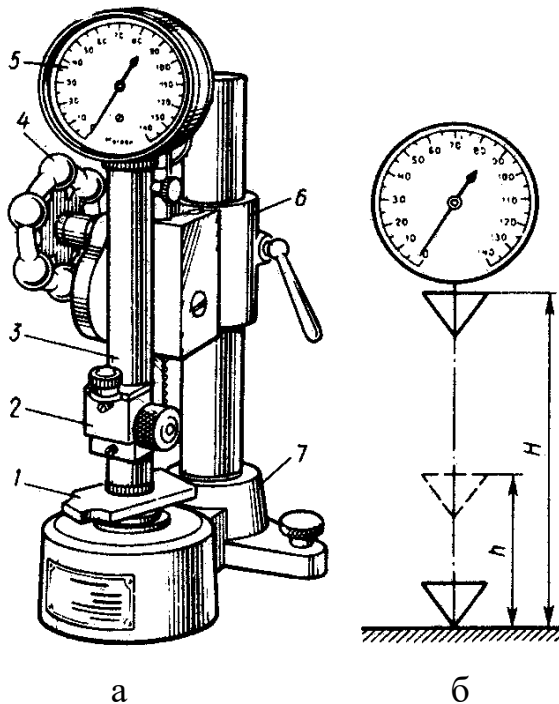


Рис.4.18. Прилад для визначення твердості за методом Шора: а – загальний вигляд приладу; б – схема визначення твердості; 1 – деталь; 2 – пристрій для повернення бойка у вихідний стан; 3 – трубка; 4 – рукоятка; 5 – індикатор; 6 – затиск; 7 – станина

ваних деталей без порушення якості поверхні.

До недоліків методу слід віднести наступне: висота відскоку залежить від модуля пружності  $E$ , а отже, матеріали з різним модулем пружності дають непорівнянні результати; показання приладу несталі і можуть мати лише порівнювальне значення, оскільки на них впливають розміри зразка і стан його поверхні.

Співвідношення між значеннями твердості, визначеної різними методами, наведено в табл.4.3.

Для оцінки властивостей окремих складових сплавів, перш за все

Енергія, яка витрачена на залишкову деформацію, дорівнює  $A = A_1 - A_2 = g(H - h)$ . Отже, чим більше енергії витрачається на залишкову деформацію, тим м'якший матеріал і менша висота відскоку  $h$  бойка.

Висота відскоку бойка фіксується положенням стрілки на шкалі індикатора 5.

Бойок у вихідне положення повертають пристроєм 2.

Шкала має 140 поділок для оцінювання висоти відскоку.

Наприклад, відскоку в 100 поділок відповідає твердість загартованої високоуглецевої сталі.

Перевагами методу є простота поводження з приладом, висока продуктивність, можливість контролю шліфованих деталей без порушення якості поверхні.

сталей, дуже тонких поверхневих шарів, покриттів, дрібних деталей механізмів годинників і приладів, металевих ниток, штучних оксидних плівок, а також дуже крихких тіл (стекло, емалей тощо), які розтріскуються під час застосування звичайних методів оцінки твердості, використовують мікротвердість.

**Мікротвердість** – це опір пластичному вдавлюванню в плоску поверхню виробу або зразка індентора – піраміди із алмазу.

Випробовування на мікротвердість виконують за методами відновлюваного (основний метод) і невідновлюваного (додатковий метод) відбитка.

Метод відновлюваного відбитка полягає в нанесенні на поверхню зразка відбитка під дією статичної навантаги, яка прикладена до алмазного наконечника протягом певного часу (аналогічно методу Віккерса), а метод невідновлюваного відбитка виконують аналогічно методу Роквелла.

Мікротвердість матеріалів визначають користуючись стандартними навантагами: 0,049 Н; 0,098 Н; 0,196 Н; 0,490 Н; 1,960 Н і 4,900 Н. Як індентор використовують чотиригранну піраміду з кутом біля вершини між протилежними гранями  $136^\circ$ . Час витримування навантаги – 5...10 с. Мікротвердість визначають за формулою 4.11.

Умови проведення випробовувань та визначення мікротвердості регламентовані нормативним документом.

Для випробовування однорідного матеріалу навантагу вибирають так, щоб діагональ відбитка була не менше, ніж у 1,5 рази, а глибина його – не менше, ніж у 10 разів, менші за товщину виробу або покриття, які випробовують.

Мікротвердість матеріалу визначають як середнє арифметичне значення не менше трьох відбитків.

У позначці мікротвердості, яка визначена методом відновлюваного відбитка, послідовно записують: індекс **H**, тип індентора, навантага в **H**, тривалість дії навантаги і число мікротвердості, наприклад:

**H1,0/10-11** – чотиригранна піраміда з ромбічною основою, навантага  $P=1,0$  Н, тривалість дії навантаги – 10 с.

Для визначення мікротвердості окремих структурних складових використовують мікротведомір ПМТ-3, рис.4.19.

Прилад має гвинт 4 і штатив 8 вертикального мікроскопа з тубусом, який переміщується вгору і вниз обертанням макрометричного гвинта 6 і мікрометричного гвинта 5. На верхній частині тубуса розташований окулярний мікрометр 7, а до нижньої прикріплені шток 2 з алмазною пірамідою, опак-ілюмінатор 9 і об'єктив 10.

В опак-ілюмінаторі розташована лампочка, яка живиться напругою 6 В від електромережі через трансформатор 12.

Прилад оснащений двома об'єктивами для огляду мікрошліфа

при збільшенні в 478 і 135 разів. Окуляр збільшує в 15 разів.

Окулярний мікрометр має нерухому сітку, відрахунковий мікрометричний барабанчик і каретку з рухомою сіткою.

Таблиця 4.3. Співвідношення між значеннями твердості, визначеної різними методами [12]

Твердість за Роквеллом, HRC	Твердість за Вікерсом, HV	Твердість за Бринеллем, HB	Твердість за Роквеллом, HRC	Твердість за Вікерсом, HV	Твердість за Бринеллем, HB
70	1076	-	47	471	448
69	1004	-	46	458	437
68	942	-	45	446	426
67	894	-	44	435	415
66	854	-	43	424	404
65	820	-	42	413	393
64	789	-	41	403	383
63	763	-	40	393	372
62	739	-	39	383	362
61	715	-	38	373	352
60	695	-	37	363	332
59	675	-	36	353	332
58	655	-	35	343	323
57	636	-	34	334	313
56	617	-	33	325	305
55	598	-	32	317	297
54	580	-	31	309	290
53	562	-	30	301	283
52	545	-	29	293	276
51	528	-	28	285	270
50	513	-	27	278	265
49	498	-	26	271	260
48	485	-	25	264	255

На нерухомій сітці довжиною 5 мм нанесені штрихи з цифрами і

кутник з прямим кутом, вершина якого співпадає з цифрою 0. На рухомій сітці нанесені кутник з прямим кутом і дві риски.

На рис.4.19, б показані нерухома **Н** і рухома **П** сітки.

Навантагу для вдавлювання алмазної пірамідки в контрольований об'єкт створюють вантажем 3, який установлений на нижньому буртику штока 2.

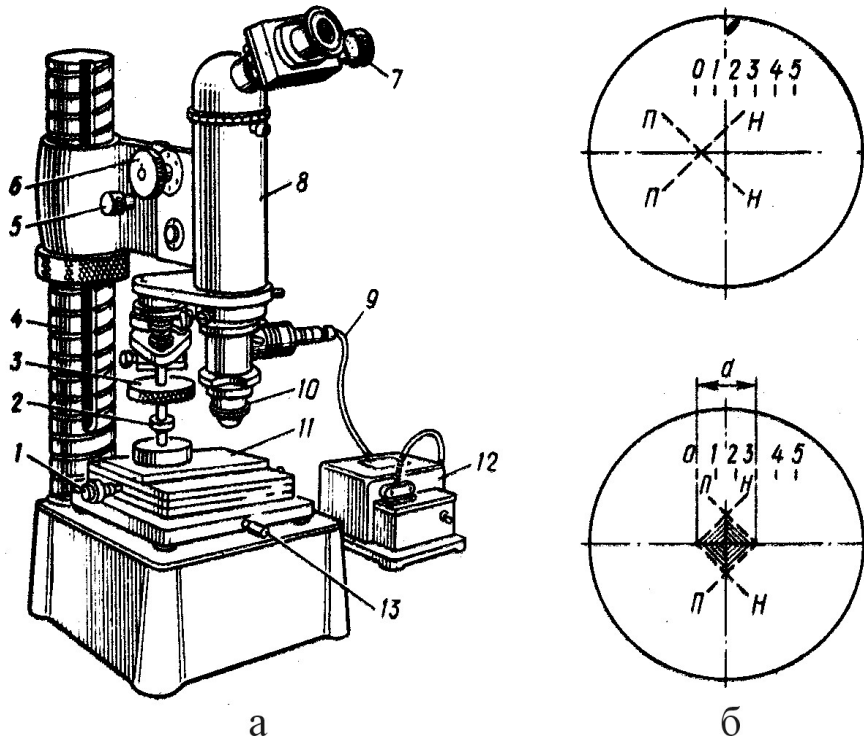


Рис.4.19. Мікротвердомір ПМТ-3: а – загальний вигляд; б – схема вимірювання відбитка; 1 – ручка; 2 – шток; 3 – вантаж; 4 – гвинт; 5 – мікрометричний гвинт; 6 – макрометричний гвинт; 7 – окулярний мікрометр; 8 – штатив; 9 – опак-ілюмінатор; 10 – об'єктив; 11 – столик; 12 – трансформатор; 13 – ручка

Поверхню вимірюваного зразка шліфують і полірують. Краще використовувати електролітичне полірування, оскільки воно не створює наклепу (зміцнення) в тонкому поверхневому шарі. За необхідністю зразок піддають травленню реактивами, які використовують для мікроаналізу відповідних сплавів.

Підготовлений для дослідження мікрошліф установлюють і закріплюють на столику 11 так, щоб випробовувана поверхня була суворо паралельна площині столика і обернена вгору. Це досягають установлюванням нижньої частини мікрошліфа в пластиліні і вирівнюванням його за допомогою ручного преса.

Мікрошліф установлюють на столику під об'єктив 10,

здійснюють налаштування на фокус мікроскопа гвинтами 6 і 5. Столик з мікрошліфом переміщують у двох перпендикулярних напрямках, вибирають місце для вимірювання мікротвердості і розташовують його у вершині кутника нерухомої сітки (див. рис.4.19, б). Установлюють вантаж 3 на буртик штока 2 і повертають ручкою 1 столик проти годинникової стрілки на  $180^\circ$  від одного упора до іншого для підведення вибраного місця під індентор. Повертають столик плавно, без поштовхів, до упора.

Повільним (протягом 10...15 с) поворотом ручки 13 проти годинникової стрілки приблизно на  $180^\circ$  опускають шток з алмазним наконечником так, щоб алмаз доторкнувся до мікрошліфа. Після закінчення витримування (5...10 с) мікрошліфа під навантагою повертають ручку у вихідний стан, піднімають оправку з алмазною пірамідою і обережно повертають столик на  $180^\circ$  до упора, при цьому мікрошліф вертається у вихідне положення під об'єктив мікроскопа для вимірювання діагоналі відбитка.

За умови правильного центрування приладу зображення відбитка попадає точно в поле зору мікроскопа близько до вершин кута нерухомої сітки.

Точність співпадання місця, вибраного для дослідження, з місцем фактичного вдавлювання індентора складає 3 мкм.

Повертанням гвинтів наведення окулярного мікрометра підводять відбиток до кутника нерухомої сітки так, щоб вершина кутника співпадала з лівим кутом відбитка, а пунктирні лінії кутника співпадали з гранями лівої частини відбитка.

Після цього повертанням мікрометричного барабанчика окуляра підводять вершину кутника рухомої сітки до протилежного кута відбитка до співпадання пунктирних ліній кутника рухомої сітки з гранями правої частини відбитка. При такому положенні сіток (див. рис.4.19, б) поділки мікрометричного барабанчика показують довжину діагоналі відбитка. Повертаючи окуляр на  $90^\circ$ , визначають довжину другої діагоналі і вираховують середню їх довжину.

Відраховування десятих частин міліметра здійснюють за цифрами, які видно в полі зору, а сотих і тисячних – за барабанчиком окулярного мікрометра, ціна поділки якого дорівнює 0,3 мкм.

Мікротвердість можна розрахувати за формулою 4.11 або скориставшись відповідною таблицею переводу середньої довжини діагоналі на твердість за Віккерсом.

Отже механічні властивості сплаву - найбільш об'єктивні показники якості деталей, які значною мірою відображають і їх експлуатаційні характеристики. У цих показниках підсумовується вплив важливих технологічних параметрів: хімічного складу, щільності і однорідності

структури, природи і характеру неметалевих включень, оброблюваності і зварюваності тощо. З цієї точки зору контроль механічних властивостей литого металу є унікальним показником, який гарантує заданий рівень якості деталей, виготовлених литтям.

Відповідно до нормативних документів механічні властивості сплавів визначають випробовуваннями зразків, вирізаних із пробних брусків або проб, які розділяють на **плавкові** і **приливні**.

Рекомендовані конфігурації, розміри пробних брусків і схеми вирізання зразків для випробовувань металу показані на рис.4.20.

Такі бруски використовують для визначення механічних властивостей виливків з товщиною стінок від 25 до 100 мм. Для одержання щільного металу проби мають масивні надливи.

Для контролю властивостей металу тонкостінних виливків використовують литі зразки, рис.4.21, які мають дещо дешевшу технологію виготовлення.

Вартість контролю механічних властивостей з використанням литих зразків замість вирізаних із тріф і клинів значно знижується: для високомарганцевої сталі – в 12 разів, для хромонікелевої – в 5, для середньовуглецевої – в 3 рази.

Кафедрою ливарного виробництва чорних і кольорових металів НТУУ „КПІ“ розроблені технології виготовлення високоякісних зразків для контролю металу виливків із товщиною стінки до 25 мм.

Для виготовлення розривних зразків використовують металеву оснастку (рис.4.22, а), яка дає можливість одержувати в одній формі чотири зразки.

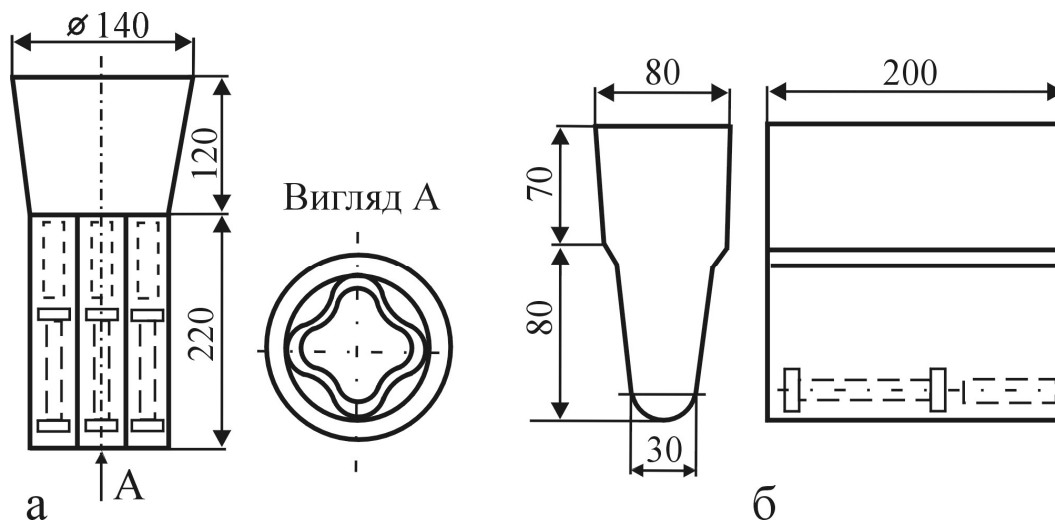


Рис. 4.20. Типи, конфігурація і розміри пробних брусків: а – тріфа; б – клин

Перевага такої технології – простота виготовлення форм і невелика



металомісткість проб. Заливання форм здійснюють прямовисно, сифоном, що за наявності невеликих надливів забезпечує одержання якісних, щільних по всій висоті, зразків.

Для дослідження ударної в'язкості використовують також литі зразки, які одержують у формі 2 (рис.4.22, б), виготовленій за металевою оснасткою, розробленою цією ж кафедрою.

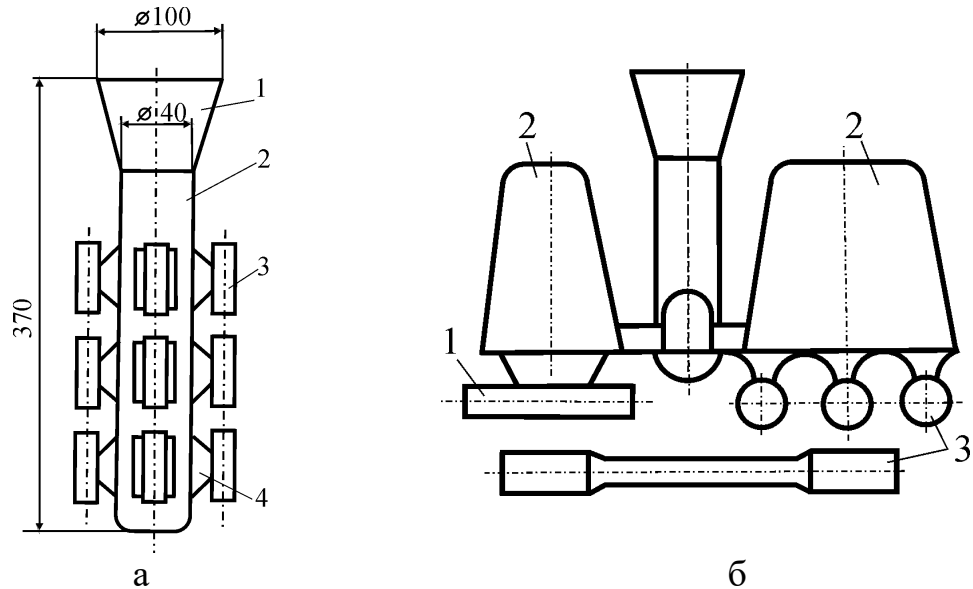


Рис.4.21. Блоки зразків для визначення ударної в'язкості (а): 1 – ливникова воронка; 2 – стояк; 3 – зразок; 4 – живильник та комплексу механічних властивостей (б): 1 – зразок для визначення ударної в'язкості; 2 – надливи; 3 – зразки для визначення міцності і пластичності

Наявність у ливниковій чаші перегородки 1 дає можливість витратити в кожному досліді однакову кількість розплаву, а після видалення перегородки забезпечувати швидке і рівномірне заповнення форми металом. Одночасно в формі можна виготовити до 15 зразків.

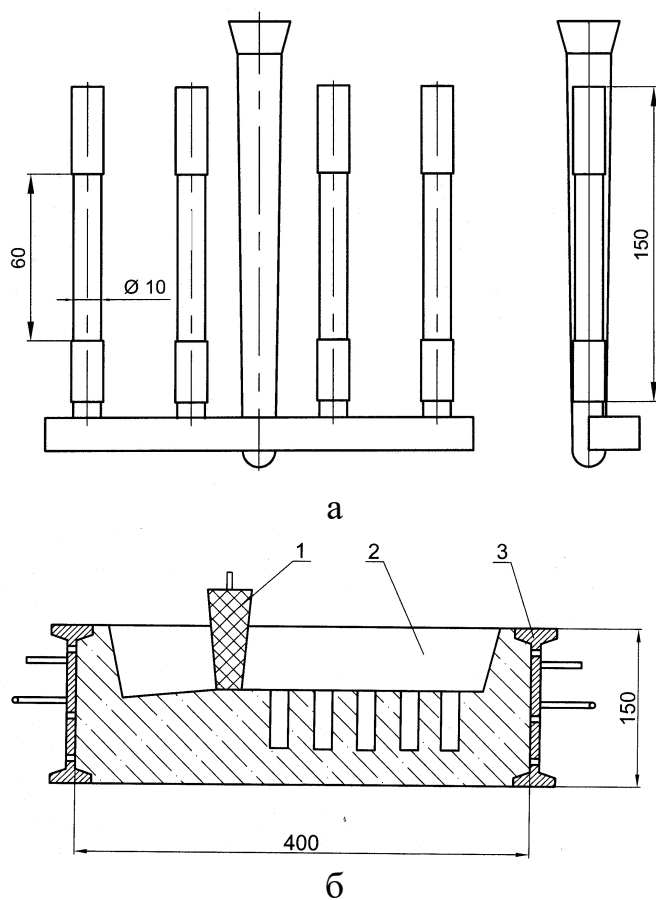
Такі зразки виготовляють в окремих формах, які заливають на початку розливання металу в форми, всередині та в кінці цієї операції. Ці проби називають **плавковими**.

Пробні бруски або зразки піддають термічному обробленню разом з виливками даної партії за однаковим режимом.

Під час виробництва виливків відповідального і особливо відповідального призначення, які потребують індивідуального контролю механічних властивостей, використовують **приливні пробні бруски** або зразки. Їх виготовляють в одній формі з виливком, а розміри і місце розташування регламентують нормативним документом.

Короткочасні випробовування металів в умовах підвищених температур, визначення їх повзучості, випробовування на тривалу

міцність, утому, зносостійкість, згин, осадку, перегин, навивання, видавлювання, сплющування тощо здійснюють за спеціальними методиками і з використанням відповідних зразків та устаткування [13].



**Металографічні методи контролю якості металів і сплавів.** Механічні випробовування металевих матеріалів не можуть повною мірою дати уявлення щодо властивостей литих деталей.

Рис.4.22. Металева оснастка для виготовлення розривних зразків (а) і форма для виробництва зразків на ударний згин (б): 1 – перегородка; 2 – форма; 3 – опока

У той же час розмір, форма, природа і взаємне розташування кристалітів і наявність неметалевих включень справляють великий вплив на властивості металу у виробках.

Для вивчення структури металів і сплавів використовують металографічний аналіз, який дає можливість досліджувати їх будову неозброєним оком або за допомогою металографічних і електронних мікроскопів.

Незважаючи на те, що останні десятиліття характеризуються помітним удосконаленням методів дослідження структури металів і сплавів, металографічний аналіз у поєднанні з хімічним травленням макро- і мікрошліфів залишається найбільш поширеним, особливо у виробничих умовах.

Перевага металографічних методів полягає не тільки в простоті, доступності, відносній нескладності використовуваного устаткування і

легкості його опанування, але і у високій цінності інформації, яку одержують під час прямого вивчення макро- і мікроструктури.

Взаєморозташування структурних складових, розподіл неметалевих і інтерметалевих фаз, орієнтування первинних або вторинних зерен залежно від зовнішніх або внутрішніх факторів, розподіл макро- і мікродефектів по перерізу виробу, особливості дендритної структури в різних частинах товстостінного виливка, топографія виокремлення збиткових фаз або інших структурних складових під час дифузійних процесів, повнота перетворень після термічного оброблення, будова зламу, дислокаційна структура – ось тільки деякі із тих задач, які можна вирішувати металографічними методами.

Металографічні методи розділяють на макро- і мікроаналізи.

**Макроаналіз** – вивчення будови металу розгляданням його поверхні неозброєним оком або за допомогою лупи і бінокулярного мікроскопа із збільшенням до 30...50 разів. Вивчають будову поверхні зламу металу, знаходять окремі ділянки зразка з дефектами і аналізують їх при збільшеннях. Макроаналіз дає можливість визначити велику кількість лінійних дефектів у виливках: усадкові і газові раковини, тріщини, дендритну будову литого металу, хімічну неоднорідність (ліквацію), різнозернинність, товщину шару металу, зміцненого поверхневим гартуванням або хіміко-термічним обробленням, прогартуваність сталі тощо. Для цього використовують макрошліфи, які вирізають із виливка і піддають глибокому або поверхневому травленню.

Поверхнєве травлення дає можливість виявити дендритну будову, зони ліквацій, тріщини у виливках.

Під час глибокого травлення вуглецевих і легованих сталей використовують 50%-ний водяний розчин соляної кислоти. Шліфи травлять при 60...70°C протягом 15...35 хв.

Корозійностійкі сталі травлять сумішшю, яка складається із соляної кислоти (100 мл), азотної (10 мл), двохромового калію  $K_2Cr_2O_4$  (25 мл) і води (100 мл). Температура травлення 60...70°C, тривалість – 30...40 хв.

**Мікроаналіз** – вивчення внутрішньої будови металів та сплавів з використанням шліфів і оптичних або електронних мікроскопів. В однофазних сплавах і чистих металах визначають розміри зерен, їх форму, орієнтацію, дендритну будову та дефекти будови кристалів. У багатофазних сплавах виявляють кількість, форму і розміри краплин окремих фаз. Вимірюванням площин, які зайняті різними фазами, можна визначити об'ємний або масовий процентний вміст кожної фази (коли відома щільність фаз).

На відміну від макроаналізу поверхню шліфа, яку піддають дослідженню, ретельно шліфують і полірують для кращого відбивання

світлових променів.

Методики виготовлення макро- і мікрошліфів для металографічних методів контролю металів і сплавів викладені в посібниках, інструкціях і стандартах.

Для травлення шліфів використовують величезну кількість різних за складом реактивів [14], проте провідне місце і сьогодні посідають розчини азотної кислоти в етиловому спирті, при цьому обов'язковим є використання хімічно чистої кислоти. Тривалість травлення складає від декількох секунд до декількох десятків хвилин залежно від природи і стану металу та концентрації реактиву. Для уповільнення травлення як розчинник використовують гліцерин або аміловий спирт.

Найбільш використовуваним є розчин 0,5...6,0%-ної концентрації. Такий реактив якісно виявляє мікроструктуру вуглецевих і низьколегованих сталей, звичайних чавунів і феросплавів.

Використовуючи багаторазове переполюювання з травленням протягом декількох секунд, можна виявити орієнтування окремих зерен фериту або його ділянки.

У сталях після термічного оброблення цим розчином виявляють структуру перліту, сорбіту тощо (карбіди не травляться); у швидкорізальних і високомарганцевих – виявляють карбідну фазу і межі аустенітних зерен.

Реактив використовують для вивчення фігур травлення в неіржавких сталях, виявлення загальної структури немагнетної сталі з високим вмістом алюмінію і марганцю тощо.

Для травлення загартованих зразків із вуглецевих сталей доцільно як розчинник використовувати аміловий спирт: у цьому випадку аустеніт фарбується в жовтуватий колір, сорбіт і троостит – в коричневий, а мартенсит не піддається травленню.

Для установлення різниці між аустенітом і мартенситом можна замінити спирт гліцерином.

Реактив використовують для травлення різних покриттів на сталі: цинкових, олов'яних і інших, а також під час вивчення структури поверхневого шару після хіміко-термічного оброблення: азотування, цементації тощо.

Після травлення зразків, виготовлених із чавунів, якісно виявляється структура металевої основи (фосфідна евтектика не травиться).

Дворазовим травленням можна виявити межі між евтектичним і вторинним цементитом у білих чавунах.

Реактивом виявляють загальну структуру багатьох кольорових металів та сплавів на їх основі.

2...6%-ний розчин азотної кислоти в етиловому спирті у вітчизняній і зарубіжній технічній літературі інколи називають „ніталем“.

10...25%-ний водяний розчин азотної кислоти використовують

для виявлення макроструктури вуглецевих і легованих сталей.

Травлення здійснюють зануренням макрошліфа в розчин на 3...30 хв. з наступним ретельним промиванням.

Реактив добре виявляє неоднорідність структури, яка виникла під час лиття, зварювання, поверхневого термічного оброблення, а також тріщини і дефекти усадкового походження.

10...50%-ний розчин використовують для травлення макро- і мікрошліфів, виготовлених із міді та її сплавів, із алюмінієвих (Al-Mg, Al-Si, Al-Cu-Ni, Al-Cu-Mn, Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg) та магнієвих сплавів.

Більш детально рецептури розчинників та технології травлення будь-яких металевих матеріалів наведені в роботі [14].

**Металографічні методи визначення неметалевих вкраплин у ливарних сплавах.** Оскільки неметалеві вкраплини, за визначенням Ю.А. Шульте, є однією із основних плавкових характеристик, які формують комплекс фізико-механічних властивостей литого металу, доцільно знати їх характеристики та методи визначення.

Класифікація методів, технології відбирання зразків, виготовлення мікрошліфів та їх випробовування обумовлені нормативним документом [28].

Неметалеві вкраплини поділяють на **екзогенні** та **ендогенні**. Перші потрапляють у рідкий метал із шихти, футерувальних та формувальних матеріалів тощо, другі утворюються внаслідок взаємодії хімічних елементів, які входять до складу сплавів, з киснем (оксиди), з сіркою (сульфіди), з азотом (нітриди), з фосфором (фосфіди) тощо.

Оксиди, сульфіді і оксисульфіді складають основну частину неметалевих вкраплин у сталі. Залежно від їх форми і розташування неметалеві вкраплини поділяють на три типи: **глобулярні** (дезорієнтовані), **евтектичні** (орієнтовані межами зерен) і **кутасті** (дезорієнтовані в об'ємі металу).

Для вивчення неметалевих вкраплин використовують **хімічні** і **металографічні** методи. Сутність хімічних методів полягає в тому, що досліджувані зразки розчиняють, а потім вивчають їх якісно і кількісно. Найпоширенішим хімічним методом визначення неметалевих вкраплин є метод **електролітичного осадження**.

Для вивчення забрудненості ливарних сплавів неметалевими вкраплинами доцільніше використовувати металографічні методи:

- **метод Ш** – оцінку неметалевих вкраплин здійснюють під мікроскопом порівнянням з еталонними шкалами під час розглядання всієї площі нетравленого шліфа з поздовжнім напрямком волокон. Використовують для вивчення деформованого металу діаметром або товщиною не менше 6 мм;

- **метод К** – забрудненість металу неметалевими вкраплинами

визначають підрахуванням кількості вкраплин, які мають розміри більші, ніж установлені нормативним документом. Використовують металографічні мікроскопи і нетравлені шліфи. Усю площу шліфа переглядають при 170...180-кратному збільшенні і ціні поділка окулярної шкали  $0,007 \pm 0,0005$  мм. Окремо визначають кількість оксидів, сульфідів, фосфідів і нітрідів за певними групами;

- **метод П** – забрудненість металу неметалевими вкраплинами визначають підрахуванням кількості і об'ємного відсотка вкраплин. Використовують для деформованого і литого металу. Розмір вкраплин на шліфах визначають за допомогою окулярної шкали за певними групами. Методика визначення кількості і об'єму неметалевих вкраплин обумовлена нормативним документом [28];

- **метод Л** – використовують для визначення забрудненості неметалевими вкраплинами металу литих заготовок лінійним підрахуванням вкраплин під мікроскопом на нетравлених шліфах при збільшенні  $300^{\times}$  і  $500^{\times}$ .

Шліф якби розкреслюють паралельними лініями в довільному напрямку таким чином, щоб вибрана довжина для підрахування була не менше 30 мм і охоплювала периферійні і центральні зони литих проб.

Шліф переміщують за допомогою мікрометричних гвинтів предметного столика мікроскопа в одному напрямку уздовж визначених ліній, вимірюють за допомогою окулярної лінійки або поділок барабана окуляра розміри вкраплин, які попадають у перехрестя ниток окуляра, фіксують їх і відносять до відповідного типу – оксидів, сульфідів або оксисульфідів – та розмірних груп.

Після виходу перехрестя окуляра за поле зору шліфа предметний столик зміщують на 0,5 мм у напрямку, перпендикулярному до переглянутого, далі підрахування неметалевих вкраплин здійснюють у напрямку, зворотному початковому.

Для об'єктивної оцінки забрудненості литого металу неметалевими вкраплинами необхідно розглянути не менше 150 мм „довжини“ шліфа.

За одержаними даними визначають окремо індекс забрудненості металу оксидами глобулярними  $I_{ог}$ , кутастими  $I_{ок}$ , сульфідами глобулярними  $I_{сг}$ , евтектичними  $I_{се}$ , кутастими  $I_{ск}$  та оксисульфідами  $I_{ос}$  за методикою:

- визначити, до якої розмірної групи відноситься НВ за формулою  $L = b \cdot m$  ( $L$  – довжина відповідної вкраплини;  $b$  – ціна поділки окулярної шкали або барабана окуляра;  $m$  – кількість поділок окулярної шкали або барабана окуляра, використаних для визначення тієї чи іншої неметалевої вкраплини);

- визначити кількість неметалевих краплин усіх видів, які належать до певної розмірної групи (групи формуються через кожні дві поділки окулярної шкали або через кожні два мікрметри: 0...2; 2,1...4,0; 4,1...6,0; 6,1...8,0 і далі) і занести у відповідну таблицю;

- визначити загальну довжину всіх типів неметалевих краплин для кожної розмірної групи за формулою:  $L_i = b_i \cdot n_i$  ( $L_i$  – довжина і-тої розмірної групи, мкм;  $b_i$  – середнє значення і-тої розмірної групи краплин, мкм;  $n_i$  – кількість краплин і-тої розмірної групи). Результати занести у таблицю;

- визначити загальну кількість і довжину кожного типу неметалевих краплин, а також довжину всіх неметалевих краплин. Результати занести у таблицю;

- визначити індекс забрудненості металу кожним типом неметалевих краплин:  $I_i = l_i / L$  ( $l_i$  – загальна довжина і-того виду неметалевих краплин, мкм;  $L$  – довжина розглянутої лінії шліфа, на якій визначалися краплини – не менше  $15 \cdot 10^4$  мкм);

- визначити загальний індекс забрудненості зразка:

$$I_z = I_{ог} + I_{ок} + I_{сг} + I_{се} + I_{ск} + I_{ос}$$

Індекс забрудненості показує, яку частину шляху, пройденого перехрестям окуляра мікроскопа площиною шліфа, складає відрізок, зайнятий неметалевими краплинами. Чим менший індекс забрудненості, тим якісніший метал у виливку, тим вищі його механічні і експлуатаційні властивості.

### 4.3 Неруйнівні методи контролю

#### 4.3.1 Загальна характеристика неруйнівних методів контролю якості промислової продукції

Неруйнівні методи контролю якості продукції не повиненні порушувати її придатність до використання за призначенням, а тому до них відносять тільки ті методи вимірювання і визначення характеристик або властивостей матеріалів, деталей і виробів, які не впливають на їх експлуатаційні показники.

Використання неруйнівних методів контролю дає можливість уникнути великих утрат часу і матеріальних ресурсів, а також забезпечує повну або часткову автоматизацію операцій контролю та підвищує надійність результатів контролю.

Методи неруйнівного контролю засновані на одержанні інформації у вигляді електричних, світлових, звукових та інших сигналів

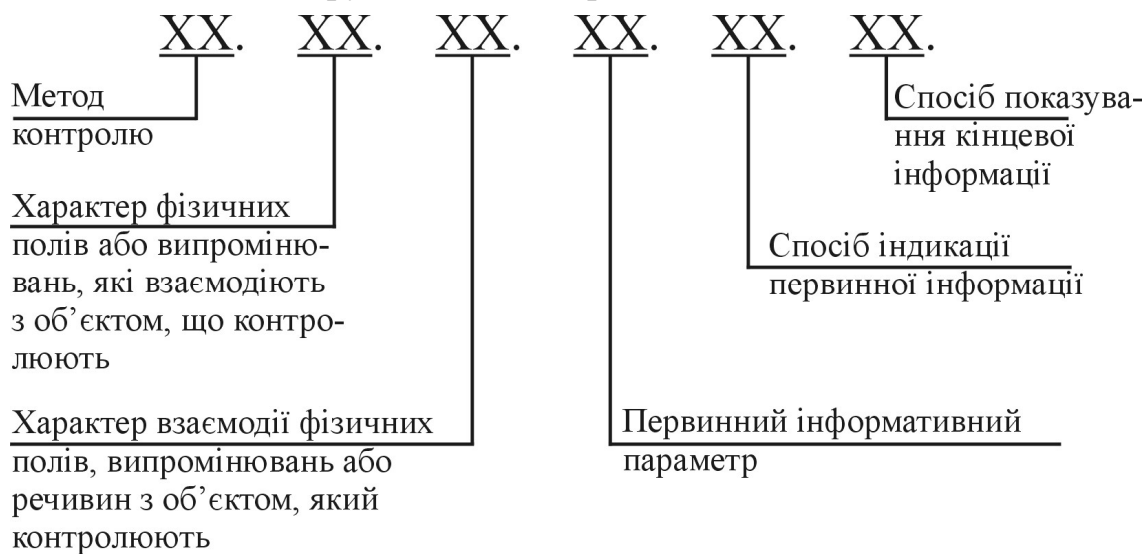
щодо якості об'єктів, які перевіряють і які взаємодіють з фізичними полями або речовинами.

На машинобудівних підприємствах для контролю якості матеріалів і виробів використовують такі методи:

01 – акустичний;  
02 – капілярний;  
03 – магнетний;  
04 – оптичний;  
05 – радіаційний;

06 – радіохвильовий;  
07 – тепловий;  
08 – течешуканням;  
09 – електричний;  
10 – електромагнетний.

Усі методи неруйнівного контролю мають відповідний код:



**Приклад:** 04.01.02.01.02.02 – метод оптичний, електромагнетне інфрачервоне, відбивання випромінювання, інтенсивність випромінювання, фотохімічний, графічний.

Для ефективного використання неруйнівного контролю методи повинні забезпечувати:

- можливість здійснення контролю на різних етапах виготовлення виробів та під час експлуатації їх і ремонту;
- можливість контролю більшості заданих параметрів;
- узгодженість часу, який витрачається на контроль, з часом роботи технологічного устаткування;
- високу достовірність результатів контролю;
- технічну доступність засобів контролю в умовах виробництва, експлуатації і ремонту.

Під час вибору методів неруйнівного контролю необхідно враховувати технічні можливості засобів контролю: чутливість, роздільну здатність методу, достовірність результатів контролю, надійність і простоту технології контролю, його продуктивність, вимоги щодо техніки безпеки, вимоги до кваліфікації спеціалістів, які здійснюють контроль.



Окрім цих специфічних особливостей засобів контролю неабияке значення мають і такі фактори:

- **характер дефектів, які піддають виявленню:** дефекти розрізняються розмірами, формою і середовищем, яке заповнює порожнини дефекту. Так, тріщини мають різну глибину, довжину і розкриття; газові і піщані раковини та неметалеві вкраплини можуть бути заповнені формувальною сумішшю або шлаком.

Для надійного виявлення дефектів вибирають певний метод контролю. Поверхневі відкриті дефекти (тріщини, пори, раковини тощо) можна виявити капілярним методом, а відносно великі такі ж дефекти – візуально-оптичним методом. Проте, якщо дефекти, навіть виходять на поверхню, але заповнені шлаком, оксидами тощо, їх доцільно виявляти магнетними або електромагнетними методами контролю.

Абсолютно непридатними для виявлення дрібних дефектів є радіаційні методи;

- **місце розташування можливих дефектів у виробі:** поверхневі дефекти можна виявити майже будь-яким методом, але найбільш ефективними є капілярний та магнетопорошковий методи; для виявлення підповерхневих дефектів (внутрішні тріщини, шлакові або газові раковини, усадкові закриті раковини, флокени тощо) доцільно використовувати методи електромагнетного, акустичного та радіаційного контролю;

- **умови роботи виробу:** аналіз умов роботи виробу дає можливість заздалегідь визначити найбільш слабкі місця конструкції і керуватися під час вибору методу контролю характером можливих дефектів, а також ступенем відповідальності деталей.

Якщо виріб працює в умовах агресивного середовища і піддається дії знакозмінних навантаж, то руйнування може наступити в місцях, де є поверхневі дефекти: риси, мікротріщини, ліквіції тощо. Відповідно повинні бути передбачені і методи їх виявлення: візуально-оптичний, магнетопорошковий, капілярний, електричний або електромагнетний;

- **фізичні властивості матеріалів:** це один із вирішальних факторів, які необхідно враховувати, вибираючи метод контролю, оскільки неруйнівні методи побудовані, переважно, на взаємодії фізичних полів або речовин з матеріалом виробу, який контролюють. Магнетопорошковий метод, наприклад, можна використовувати тільки для феромагнетних і однорідних за своїми магнетними властивостями матеріалів; для методів акустичного контролю матеріал повинен мати пружні властивості і малий коефіцієнт затухання коливання; для капілярного контролю матеріал повинен бути стійким до дії органічних розчинників і бути не поруватим;

- **форма і розміри контрольованих виробів:** радіаційний, капілярний і радіохвильовий методи контролю можна використовувати для виробів, практично будь-якої форми і розмірів, але результати контролю такими методами як акустичний і електромагнетний важко піддаються розшифруванню, якщо вироби мають складну форму. Магнетопорошковий, капілярний, оптичний і електричний методи дають можливість контролювати великогабаритні вироби частинами;

- **стан і шорсткість поверхні виробу:** чутливість неруйнівних методів контролю залежить від стану поверхні. Якщо поверхня виробу, який контролюють, забруднена, покрита окалиною, мастилом або на ній є лакофарбові покриття, то для виявлення поверхневих або підповерхневих дефектів капілярний, магнетопорошковий, оптичний, електричний і електромагнетний методи стають неефективними;

- **умови контролю і наявність доступу до виробу, який контролюють:** деякі методи можна використовувати тільки в тому випадку, коли забезпечений доступ до виробу з двох боків: з одного боку знаходиться джерело випромінювання, з другого – детектор. Це методи радіаційного і акустичного контролю виробів. Магнетні, капілярні, радіохвильовий методи контролю здійснюють з використанням однобічного доступу, що суттєво розширює можливості цих методів. Для акустичного, електромагнетного і теплового контролю використовують або безпосередній контакт з виробом, або близьке розташування до нього реєструвальної апаратури, що не завжди можливо. Радіаційний і радіохвильовий методи контролю здійснюють без цього, а тому їх можна використовувати для контролю виробу у важкодоступних місцях.

Роль неруйнівних методів контролю в підвищенні якості продукції дуже велика. Без використання цих високоефективних і високопродуктивних методів контролю розвиток авіаційної і атомної галузей, а також сучасної енергетики і забезпечення безпеки руху на транспорті неможливі.

У табл.4.4 наведені види вірогідних дефектів у метали та рекомендовані для їх виявлення методи неруйнівного контролю.

#### **4.3.2. Оптичний метод контролю**

Оптичний неруйнівний контроль заснований на реєстрації параметрів оптичного випромінювання – електромагнетного випромінювання – в діапазоні довжин хвиль від  $10^{-5}$  до  $10^3$  мкм.

Оптичний метод використовували як неруйнівний контроль задовго до інших методів. Око людини, озброєне за необхідністю лін-

зою або мікроскопом, є дуже ефективним інструментом для безконтактного виявлення всіляких поверхневих дефектів: тріщин, відкритих раковин, спаїв, ужимин, наростів, заливів, ушкоджень, пригару тощо.

Таблиця 4.4. Оцінка можливостей неруйнівних методів контролю

Інд. поз.	Вид дефекту	Методи контролю					
		оптичний	радіаційний	магнетний	капілярний	електромагнетний	акустичний
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Неметалеві краплини	0	4	0	0	2	4
2	Поверхнєве ушкодження	4	0	0	0	2	0
3	Міжкристалева тріщина	3	0	0	4	4	4
4	Ліквація	0	2	0	0	0	0
5	Незлитина	2	2	0	0	2	3
6	Невідповідність структури	0	0	3	0	4	0
7	Невідповідність товщини загартованого шару	0	0	4	0	4	4
8	Плівка	3	0	0	0	0	0
9	Газова раковина	0	4	2	2	4	3
10	Утяжина	0	4	0	0	0	5
11	Тріщина внутрішня	0	1	0	0	0	4
12	Раковина усадкова закрита	0	4	0	0	0	4
13	Недолив	5	0	0	0	0	0
14	Обтиск	5	0	0	0	0	0
15	Подутість	5	0	0	0	0	0
16	Різностінність	3	4	0	0	0	4
17	Заріз, вилом	5	0	0	0	0	0
18	Спай	2	2	0	0	0	3
19	Просік	0	0	5	0	3	0
20	Газова шорсткість	2	0	4	4	2	0
21	Засміченість	0	4	2	0	2	3
22	Ситоподібна раковина	2	2	4	3	3	2
23	Раковина піщана	4	2	2	2	2	0
24	Непровар жеребійок	0	3	3	0	0	4
25	Скипання	2	3	0	0	2	3
26	Відбіл, половинчастість	2	0	4	0	3	2
27	Флокен	0	0	4	0	0	4
28	Тріщина поверхнева	2	2	2	2	2	0
29	Тріщина термічна	0	0	4	4	4	4

Примітка. Оцінка методів неруйнівного контролю: 5 – відмінно; 4 – хорошо; 3 – задовільно; 2 – не рекомендовано, але за відсутністю інших методів можна використовувати; 0 – незадовільно.

Використанням цього методу виявляють місця руйнування виробів, аналізують характер і причини поверхневих дефектів, виявлених іншими методами контролю; виявляють відхилення форми і розмірів деталей, виливків, викуванців і штамповань від креслеників; перевіряють якість оброблення поверхні, її відбивальну здатність, кольорові характеристики деталі тощо.

На жаль, такі методи контролю достатньо суб'єктивні і вимагають спеціальної підготовки персоналу. До того ж можливості очей кожної людини різні і навіть при використанні оптичних приладів помилка вимірювань може бути значною.

Людське око можна розглядати як контрольний прилад. При його використанні контроль називають **візуальним**.

Поле зору одного ока поділяють на три зони:

- **зона найбільш чіткого бачення** – з полем зору приблизно  $2^\circ$  по горизонталі та вертикалі;

- **зона ясного бачення** – з полем зору до  $30^\circ$  по горизонталі і  $22^\circ$  – по вертикалі, у межах якої за умови нерухомості ока можна розпізнавати дрібні об'єкти;

- **зона периферійного бачення** – з полем зору до  $150^\circ$  по горизонталі та  $125^\circ$  – по вертикалі, в межах якої предмети не пізнаються. Ця зона має велике значення тільки для орієнтації.

Отже можливості ока треба враховувати під час розроблення методики контролю. Слід пам'ятати, що охоплювати контролем великі площини недоцільно, оскільки при цьому зменшується ефективність візуального контролю.

**Бінокулярний зір** – розглядання об'єкта двома очима – суттєво підвищує чутливість контролю, оскільки при цьому здійснюється більш правильне сприйняття простору, об'єму та форми об'єкта розглядання.

**Видимість об'єктів** при візуальному контролі – це ступінь розпізнавання об'єктів під час їх розглядання. Окрім психофізичних властивостей зору видимість залежить від:

- довготривалості розглядання об'єкта;
- контрасту;
- яскравості;
- кольору об'єкта;
- різкості контурів об'єкта;
- умов освітлення об'єкта.

Час, необхідний для виникнення зорового відчуття, складає  $0,025 \dots 0,100$  с. Світлове відчуття, що виникло, зникає поступово, а тому

точка, яка рухається, сприймається як лінія, а світло, яке миготить з високою частотою, не відрізняється від усталеного. Критична частота – 50 Гц і це треба враховувати під час візуального контролю.

**Контраст** – властивість об'єкта виокремлюватися на навкружному фоні завдяки різниці їх оптичних властивостей.

Розрізняють **яскравистий** і **колірний** контрасти.

За міру яскравистого контрасту приймають відношення:

$$K = \frac{V_{\Phi} - V_0}{V_{\Phi}}, \quad (4.13)$$

де  $V_{\Phi}$  – контраст яскравості фону;

$V_0$  – контраст яскравості об'єкта.

При  $K > 0,5$  – контраст великий; при  $0,2 \leq K \leq 0,5$  – контраст середній і при  $K \leq 0,2$  – контраст малий.

Найкращий контраст – це використання білого та чорного кольорів, які мають максимальний та мінімальний коефіцієнти відбиття.

Мінімальний контраст, який може розпізнати контролер, називають порогом контрастної чутливості ока і складає 0,01...0,02. Його позначають  $K_{пор}$ .

Відношення  $K : K_{пор}$  визначає видимість об'єкта.

Під колірним контрастом розуміють міру відмінності кольорів за їх колірним тоном, насиченістю та яскравістю.

Ступінь відмінності кольорів визначають на кольоровому крузі, який має десять секторів. Кольори нанесені у спектральній послідовності: червоний, жовтогарячий, жовтий, жовтозелений, зелений, зеленоблакитний, блакитний, синій, фіолетовий та пурпуровий.

У центрі круга розташований білий колір. У кожному секторі насиченість тону змінюється від малої до високої.

**Роздільна здатність** – це здатність роздільно сприймати близько розташовані один біля другого об'єкти. Її характеризують кутом між променями, що виходять із ока до двох роздільних об'єктів, які знаходяться на мінімальній відстані. Мінімальна відстань між об'єктами при цьому дорівнює:

$$R = l \cdot \sin \alpha, \quad (4.14)$$

де  $l$  – відстань ока до площини об'єктів.

Роздільну здатність в  $l'$  вважають нормальною.

**Гострота зору** – здатність ока розпізнавати дрібні об'єкти або розпізнавати їх форму. Нормальна гострота зору  $l'$ . Наприклад, при гостроті зору  $2'$  на відстані найкращого зору 250 мм око може розпізнати об'єкти розміром не менше 0,15 мм.

**Умови освітлення об'єкта** суттєво впливають на роздільну здатність та гостроту зору:

- при недостатньому освітленні виникає негативна іррадіація – уявне зменшення об'єкта, який розглядають, на темному фоні. Це утруднює його виявлення;

- при нормальному освітленні виникає позитивна іррадіація – уявне збільшення розмірів світлих об'єктів на темному фоні;

- при інтенсивному освітленні виникає сліпуча дія на око, а тому знижуються і гострота зору, і роздільна здатність.

Суттєве значення має також розташування джерела освітлення.

На результативність візуального контролю впливають і інші фактори:

- комфортність умов контролю – температура, вологість повітря, шум тощо;

- втома контролера;

- кольори об'єкта та фону: червоний колір прискорює реакцію, фіолетовий – уповільнює її на 27...40%.

Прикладом візуального контролю в ливарному виробництві може бути визначення шорсткості поверхні виливка за допомогою робочих зразків шорсткості.

Використовують три комплекти робочих зразків для виливків:

- оброблених литим дробом;

- оброблених колотим дробом;

- оброблених у галтувальних барабанах.

Кожний комплект складається із чотирьох робочих зразків шорсткості з різними нерівностями.

Гальванопластичну копію реального виливка виготовляють методом нікелькобальтової гальванопластики. Кожний робочий зразок шорсткості закріплений в окремій дерев'яній оправі.

Оцінку і контроль шорсткості поверхні виливка здійснюють візуальним порівнянням (неозброєним оком) з комплектом робочих зразків, які відповідають певному виду очищення литої заготовки.

При сумнівах в результатах тестування допускається використовувати органолептичний (дотиком) метод контролю як допоміжний.

Під час контролю робочі зразки шорсткості установлюють на поверхню виливка, яку контролюють.

Шорсткість найкраще сприймається оком контролера при падінні світла на поверхню об'єкта під кутом 10...15° по відношенню до поверхні, яку контролюють.

Оскільки можливості людського ока обмежені, то для контролю використовують оптичні прилади, які значною мірою розширюють природні можливості ока.

Контроль з використанням оптичних приладів називають **візуально-оптичним**.

Оптичні прилади забезпечують необхідну кратність збільшення та хорошу контрастність зображення.

Виходячи із принципів геометричної оптики розрізняють три групи приладів:

- **візуальні**, в яких приймачем інформації є око. Це оглядові прилади, мікроскопи, лупи, ендоскопи і широкий клас приладів для вимірювання лінійних, кутових та інших розмірів і величин;

- **детекторні**, в яких приймачем променистої енергії є всілякі детектори: хімічні реагенти, люмінесцентні речовини, фотоемульсії, електронні прилади тощо;

- **комбіновані**, в яких використовують поєднання складних оптичних систем з електричними або електронними пристроями.

Частіше використовують прилади першої групи, візуальні, які в свою чергу поділяють на:

- **прилади для контролю дрібних об'єктів** – оптимальна відстань від виробу до людського ока дорівнює 250 мм. Це лупи з різним збільшенням, мікроскопи тощо;

- **прилади для контролю об'єктів**, які розташовані на відстані більшій, ніж 250 мм. Це телескопічні лупи, біноклі, зорові труби тощо;

- **прилади для контролю прихованих об'єктів** – внутрішніх поверхонь порожнистих деталей та конструкцій. Це ендоскопи та перископічні дефектоскопи.

Для загального огляду поверхні контрольованого об'єкта використовують оглядові лупи із збільшенням  $2^x \dots 4^x$ .

Для візуально-оптичного контролю використовують лупи із збільшенням  $2^x \dots 40^x$  та фокусною відстанню від 12,5 до 200 мм. Характеристики деяких луп наведені в табл.4.5.

Таблиця 4.5. Характеристика луп

Інд. поз.	Тип	Марка	Збільшення	Відстань від лінзи до контрольованої поверхні, мм
1	Оглядові	ЛПК – 470	$2^x$	140...150
		ЛПК – 471	$6^x$	140...150
2	Складні кишенькові	ЛП – 1	$2,5^x \dots 7^x$	33...98
		ЛА – 3	$6^x \dots 10^x$	21...35
3	Телескопічні	ТЛА	$2^x \dots 40^x$	40...270

Більш ефективно здійснюють контроль з використанням мікроскопів.

За допомогою приладів другої групи визначають поведінку вилітків, які знаходяться в термічній печі, здійснюють контроль процесів плавлення металу в дугових печах тощо.

Для виявлення прихованих поверхневих дефектів використовують ендоскопи різних конструкцій, принцип дії яких дає можливість за допомогою спеціальної оптичної системи передавати зображення на відстань до декількох метрів. При цьому обов'язково необхідно витримувати умову: відношення довжини ендоскопу до його поперечного перерізу повинне бути значно більшим за одиницю.

Ендоскопи розділяють на лінзові, волоконно-оптичні і комбіновані.

**Лінзовий ендоскоп** – конструктивно виконаний у вигляді корпусу циліндричної форми, усередині якого розташовані всі елементи оптичної системи. Оптична схема лінзового ендоскопа наведена на рис.4.23.

Корпус ендоскопа складається з декількох трубок різної довжини, на зовнішній поверхні яких нанесена шкала, що дає можливість зафіксувати відстань від крайки об'єкта до дефекта. Загальна кількість лінзових елементів може досягати 40...50, що призводить до великих втрат світла.

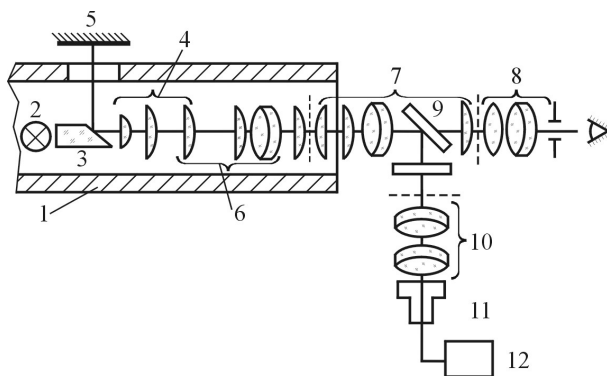


Рис.4.23. Схема лінзового дефектоскопа: 1 – корпус; 2 – джерело світла; 3 – призма; 4 – об'єктив; 5 – об'єкт контролю; 6 – основна оптична система; 7 – змінна оптична система; 8 – окуляр; 9 – дзеркало; 10 – об'єктив; 11 – мішень; 12 – телеекран

5...100 мм.

Лінзові ендоскопи мають, переважно, жорстку конструкцію, що звужує можливості їх використання. Проте в деяких конструкціях сучасних ендоскопів використовують гнучкі елементи, які можуть згинатися в межах 5...10°.

**Волоконно-оптичний ендоскоп** – виготовлений із гнучких світлопроводів, які уявляють собою набір тонких скляних ниток діаметром

Змінна оптична система 7 слугує для подовження приладу або приєднування телевізійної системи спостереження, яка складається із мішені 11 і телеекрана 12. Дзеркало 9 і об'єктив 10 призначені для проектування зображення поверхні об'єкта контролю 5 на мішень 11. Ендоскопами деяких моделей можна фотографувати дефекти за допомогою фотоприставок.

Лінзовими ендоскопами можна виявляти дефекти розмірами до 0,03...0,08 мм у виробках довжиною до 10 м і діаметром



10...20 мкм, зібраних у джгут (рис.4.24). Кожна елементарна нитка – світлопровід покрита зверху тонким шаром скла (1...2 мкм) з нижчим показником заломлення. Кількість заломлень може досягати до  $10^6$ , що призводить до втрат 40...50% світлової енергії.

Освітлювальний світлопровід 6 виготовляють із безладно укладених волокон, а світлопровід зображення 4 – з упорядкованою структурою.

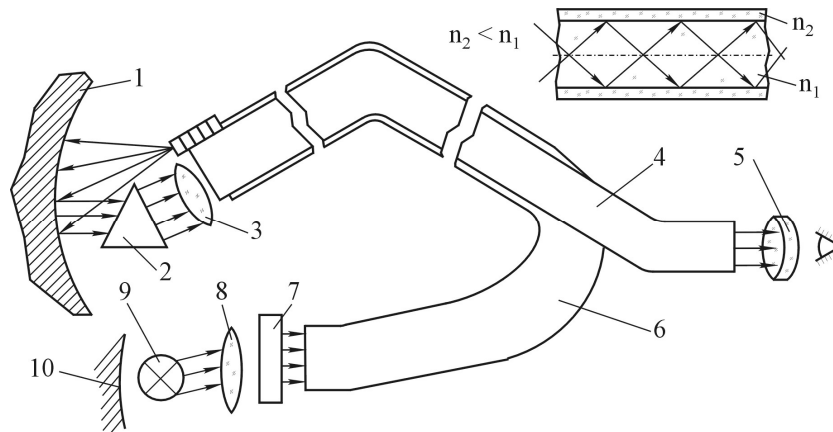


Рис.4.24. Схема волоконно-оптичного ендоскопа: 1 – об'єкт контролю; 2 – призма; 3 – об'єктив; 4 – внутрішній світлопровід зображення; 5 – окуляр; 6 – освітлювальний світлопровід; 7 – теплофільтр; 8 – конденсор; 9 – джерело світла; 10 – дзеркало

Кількість волокон у світлопроводі досягає  $10^6$  на  $1 \text{ см}^2$ . Якість зображення цих ендоскопів нижча від лінзових, але з їх допомогою можна вирішувати більш складні завдання, ніж з використанням лінзових.

Довжина гнучкої частини волоконно-оптичного ендоскопа досягає 1,5...2,5 м. Деякі моделі мають механізм дистанційного керування об'єктивом і згином передньої частини (до 100 мм).

Можливості ендоскопів суттєво розширюються при використанні голографічного методу реєстрації оптичних сигналів. Схема одержання голограм труднодоступних об'єктів з використанням волоконної оптики наведена на рис.4.25.

**Комбінований ендоскоп** – це волоконно-лінзовий, в якому зображення передається оптичною системою, а освітлення об'єкта – волоконно-оптичним світлопроводом, що забезпечує високу рівномірність освітлення об'єкта контролю і сприяє ефективному виявленню дефектів.

Хвильова природа світла і оптична інтерференція стали основою для створення групи приладів – інтерферометрів.

**Інтерферометричний метод** – заснований на одержанні інформації про об’єкт через утворення в площині зображення відповідного розподілу інтенсивності і фази хвильового випромінювання, яке проходить через об’єкт або відбивається ним.

Метод використовують для вимірювання шорсткості на точно оброблених поверхнях, товщини покриттів на металевих і скляних виробках тощо. Оцінити якість поверхні після прецизійних операцій можливо тільки інтерференцією світла, оскільки принципи оптичного збільшення в таких випадках стають непридатними.

**Голографічний метод** – використовують для контролю деформацій, переміщень, відхилень від заданої форми об’єктів складної конфігурації, а також оптичних середовищ. Це один із важливих напрямів оптичної дефектоскопії.

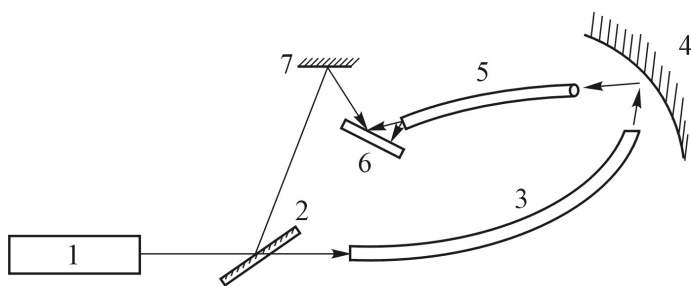


Рис.4.25. Схема одержання голограм за допомогою волоконних світлопроводів: 1 – лазер; 2 – світлоділильне дзеркало; 3, 5 – світлопроводи; 4 – об’єкт контролю; 6 – фотопластинка; 7 – дзеркало

Голографічний метод заснований на реєстрації інтерференційної картини, яка утворюється під час взаємодії опорного і розсіяного контрольованим об’єктом полів когерентних хвиль з наступним поновленням зображення об’єкта. Голографія суттєво відрізняється від звичайних способів реєстрації,

які здійснюють за допомогою фотографічних матеріалів, фотоелектричних приймачів тощо, що реагують тільки на інтенсивність коливань.

Оскільки вся інформація щодо форми об’єкта контролю вміститься в складній світловій хвилі, яка розсівається об’єктом під час його освітлення, голографічний процес дає можливість реєструвати цю форму на голограмі в незмінному вигляді.

Голограми дають можливість одержувати безпосередню якісну картину розподілу деформацій по всій поверхні контрольованого об’єкта в результаті прикладеного до нього зусилля, а після співставлення з голограмою еталонного зразка виявити різні дефекти. Голографію використовують також для аналізу вібрацій поверхні, що дає можливість виявити властивості матеріалу контрольованої деталі.

**Поляризаційний метод** – використовують тільки для оптично прозорих середовищ. Поляризація променя світла здійснюється під час

його відбивання, заломлення і, особливо, подвійного заломлення і полягає в тому, що коливальний рух в усіх точках променя здійснюється тільки в одній площині, тоді як у природному промені коливання здійснюється в усіх напрямках, перпендикулярних променю.

Метод дає можливість здійснити контроль напружин у прозорих середовищах, виявити відхилення товщини матеріалу.

Методи оптичного контролю удосконалюють через автоматизацію процесів.

Поширення знайшов телевізійний метод, який використовують для електронно-оптичного аналізу структури речовин, вимірювання лінійних розмірів дефектів тощо.

В оптико-електронних системах фотоелементи – електронні прилади, які перетворюють світлову енергію в електричну на основі фотоелектричного ефекту, замінюють око людини.

**Організація дільниці візуально-оптичного контролю.** Для ефективного виявлення дефектів різного походження необхідно виконувати такі правила:

- робоче місце контролера повинне бути розраховане на роботу сидячи;
- освітлення: загальне рівномірне і місцеве;
- для контролю великогабаритних виливків необхідно передбачати переносні світильники;
- колір стін приміщення повинен бути сприятливим для створення нормальних умов роботи. Оптимальні кольори: світлі тони жовтого, зеленого або блакитного; можна використовувати світло-сірий колір;
- вентиляція, опалення та інші фактори повинні забезпечувати комфортні умови праці контролера.

### 4.3.3 Капілярні методи контролю

Капілярні методи неруйнівного контролю засновані на капілярному проникненні індикаторних рідин (пенетрантів) у порожнини поверхневих і наскрізних несучільностей матеріалу об'єктів контролю і реєстрації індикаторних рисунків, які при цьому утворюються, візуальним способом або за допомогою перетворювачів.

Капілярні методи контролю використовують для виявлення невидимих або слабковидимих незброєним оком поверхневих або наскрізних дефектів (тріщин, пор, спаїв тощо) в об'єктах контролю, визначення їх розташування, довжини (для тріщин) і напрямку на поверхні. Цей метод контролю дає можливість діагностувати об'єкти будь-яких розмірів і форм, які виготовлені із сплавів на основі заліза і

кольорових металів, пластмас, скла, кераміки і з інших твердих феромагнетних матеріалів.

Капілярний контроль використовують і для об'єктів, які виготовлені із феромагнетних матеріалів, якщо їх магнетні властивості, форма, вид і розташування дефектів не дають можливості досягти необхідної чутливості магнетопорошковим методом або останній не можна використовувати через умови експлуатації об'єкта.

Капіляр, який виходить на поверхню об'єкта контролю тільки з одного боку, називають **поверхневою несущільністю**, а який з'єднує протилежні стінки об'єкта – **наскрізною**. У цьому випадку можна використовувати терміносполуки „**поверхневий дефект**” і „**наскрізний дефект**”.

Зображення, яке утворене пенетрантом у місці розташування несущільності і нагадує форму дефекту на виході на поверхню об'єкта контролю, називають **індикаторним рисунком**.

**Глибина несущільності** – це розмір несущільності в напрямку від поверхні об'єкта контролю усередину його.

**Довжина несущільності** – поздовжній розмір несущільності на поверхні об'єкта.

**Розкриття несущільності** – її поперечний розмір на виході на поверхню об'єкта контролю.

Основні методи капілярного контролю розділяють залежно від типу речовини, яка проникає в дефекти, на такі:

- **метод проникливих розчинів** – це рідинний метод капілярного неруйнівного контролю, який заснований на використанні як проникливої речовини рідкого індикаторного розчину;

- **метод відфільтрованих суспензій** – це рідинний метод капілярного неруйнівного контролю, заснований на використанні як проникливої речовини індикаторної суспензії, яка утворює індикаторний рисунок із відфільтрованих часточок дисперсної фази.

Залежно від способу виявлення індикаторного рисунка капілярні методи розділяють на:

- **люмінесцентний** – заснований на реєстрації контрасту люмінофора в довгохвильовому ультрафіолетовому випромінюванні видимого індикаторного рисунка на фоні поверхні об'єкта контролю. Метод досить ефективний, оскільки в пенетрант додають люмінофор, який добре виявляється;

- **кольоровий** – заснований на реєстрації кольорового контрасту у видимому випромінюванні індикаторного рисунка на фоні поверхні об'єкта контролю (наприклад, червоний індикаторний рисунок на білому фоні, що забезпечує високий колірний контраст і суттєво підвищує чутливість методу);

- **люмінесцентно-кольоровий** – є комбінацією перших двох і заснований на реєстрації контрасту кольорового або люмінесцентного індикаторного рисунка на фоні поверхні об'єкта контролю у видимому або довгохвильовому ультрафіолетовому випромінюванні, тобто рисунок має кольорове зображення, що дає можливість виявити дефект при звичайному освітленні контрольованої поверхні, а також в ультрафіолетових променях;

- **яскравистий** – заснований на реєстрації контрасту у видимому випромінюванні ахроматичного, тобто чорного, сірого або безбарвного, рисунка на фоні поверхні об'єкта контролю;

- **комбінований** – поєднує два або більше різних за фізичною сутністю методів неруйнівного контролю, один із яких обов'язково рідинний, тобто капілярний. Це капілярно-електростатичний, капілярно-електроіндуктивний, капілярно-магнетний, капілярно-радіаційний і інші методи.

**Капілярно-електростатичний метод** – заснований на виявленні індикаторного рисунка, який утворюється внаслідок скупчення електрично заряджених часточок біля поверхневої або наскрізної несучільності неелектропровідного об'єкта, заповненого іоногенним пенетрантом.

**Капілярно-електроіндуктивний метод** – заснований на електроіндуктивному виявленні електропровідного індикаторного пенетранта в поверхневих і наскрізних несучільностях неелектропровідного об'єкта.

**Капілярно-магнетопорошковий метод** – заснований на виявленні комплексного індикаторного рисунка, який утворюється пенетрантом і феромагнетним порошком під час контролю немагнетного об'єкта.

**Капілярно-радіаційний метод випромінювання** – заснований на реєстрації іонізованого випромінювання відповідного пенетранта в поверхневих і наскрізних несучільностях.

**Капілярно-радіаційний метод поглинання** – заснований на реєстрації поглинання іонізованого випромінювання відповідним пенетрантом у поверхневих і наскрізних несучільностях об'єкта контролю.

Капілярні методи контролю розділяють і за способом утворення індикаторних рисунків дефектів:

- **сорбційний** – на очищену від надлишку пенетранта контрольовану поверхню наносять сухий порошок („сухий” спосіб) або порошок у вигляді суспензії („мокрый” спосіб), при цьому внаслідок сорбційних сил рідина, яка заповнила раніше порожнину дефекту, витягується із нього в шар проявника;

- **дифузійний** – на підготовлену поверхню контрольованого об'єкта наносять спеціальне покриття у вигляді лаку або фарби, в яке

дифундує рідина із порожнини дефекту і утворює індикаторний рисунок. Дифузійний спосіб чутливіший, ніж сорбційний;

- **безпорошковий** – рідина, яка проникає в дефекти, уявляє собою розчин органічних кристалів люмінофора в леткому розчиннику.

Деталь занурюють у розчин, витримують деякий час, а потім виймають. Леткий розчинник випаровується, а на деталі залишаються кристали люмінофора. Для попередження похибок контролю поверхню деталі оброблюють у розчині, який гасить люмінесценцію, але практично не взаємодіє з люмінофором у порожнині дефекту; останній виявляють освітленням деталі ультрафіолетовими променями;

- **самопроявниковий** – після видалення з поверхні контрольованого об'єкта надлишку люмінесцентної рідини деталь нагрівають. Внаслідок розширення рідини, що знаходиться в порожнинах дефектів, вона рухається до поверхні і утворює індикаторний рисунок, який виявляють ультрафіолетовим освітленням поверхні.

Класифікація капілярних методів неруйнівного контролю наведена на рис.4.26.

У промисловості частіше інших використовують кольоровий (дифузійний) і люмінесцентний („сухий” сорбційний).

Технологічні операції капілярного контролю виконують у послідовності, наведеній на рис.4.27.

**Підготовка поверхні виробу до контролю.** З поверхні видаляють всілякі забрудненості, лакофарбні покриття, здійснюють знежирення і сушіння контрольованої поверхні, а також видаляють залишки знежирювальних і мийних засобів (рис.4.27, а), оскільки забрудненості перешкоджають проникненню дефектоскопічних матеріалів у порожнини дефектів.



Рис.4.26. Різновиди капілярних методів неруйнівного контролю

Використовують такі способи очищення:

- **розчинювальний** – очищення здійснюють промиванням виробів легколеткими рідкими розчинниками;

- **ультразвуковий** – очищення здійснюють рідкими розчинниками з використанням ультразвукової дії;

- **анодно-ультразвуковий** – очищення виконують травильними сумішами з одночасною дією ультразвуку і електричного поля;

- **паровий** – очищення здійснюють в парах органічних розчинників;

- **механічний** – очищення виконують струменем абразиву (піску, дробу тощо) або механічним обробленням поверхні (шліфуванням, поліруванням, зачищенням металевими щітками).

Необхідно зазначити, що механічне очищення виливків від пригару, яке використовують у ливарних цехах, суттєво знижує ефективність виявлення дефектів капілярним методом, оскільки під час очищення можливе перекриття тріщин та інших дефектів здеформованим на поверхні виробу шаром металу;

- **хімічний** – очищення здійснюють травильними сумішами;

- **електрохімічний** – очищення виконують травильними сумішами з одночасною дією на поверхню виробу електричного струму;

- **тепловий** – очищення виконують нагріванням виробу до високих температур, які не призводять до зміни властивостей матеріалу виробу.

Після очищення і промивання виробів здійснюють їх сушіння: природне – на повітрі, примусове – обдуванням стиснутим повітрям, підігріванням у печі або сушильній шафі при температурах 80...150°C.

**Нанесення на поверхню виробу індикаторного пенетранта** – заповнення порожнин поверхневих дефектів – головне завдання цієї операції (рис.4.27, б).

Для заповнення порожнин дефектів пенетрантом використовують такі способи:

Для заповнення порожнин дефектів пенетрантом використовують такі способи:

- **капілярний** – самовільне заповнення порожнин дефектів пенетрантом нанесенням його на поверхні змочуванням виробу, зануренням його в розчин, струменем та розпиленням пенетранта;

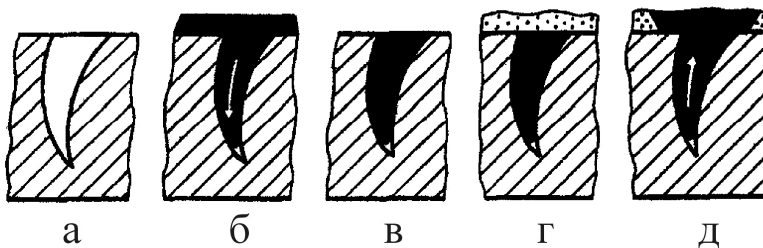


Рис.4.27. Технологічні операції капілярного контролю: а – очищення поверхні виробу; б – нанесення пенетранта; в – видалення

надлишку пенетранта з контрольованої поверхні; г – нанесення на поверхню проявника; д – виявлення індикаторного рисунка

**- вакуумний** – заповнення порожнин дефектів

пенетрантом при тиску в порожнинах меншому, ніж атмосферний;

**- компресорний** – заповнення порожнин дефектів пенетрантом дією на нього надлишкового тиску;

**- ультразвуковий** – заповнення порожнин дефектів пенетрантом в ультразвуковому полі з використанням ультразвукового капілярного ефекту;

**- деформаційний** – заповнення порожнин дефектів пенетрантом під дією на об'єкт контролю пружних коливань звукової частоти або статичного навантажування, яке збільшує мінімальний розмір дефектів.

Час, протягом якого пенетрант повинен контактувати з контрольованим об'єктом, залежить від складу рідини, матеріалу деталі, характеру дефектів та бажаної чутливості і складає від 2 до 20...30 хв.

З метою підвищення продуктивності контролю використовують такі способи пришвидшення процесу заповнення дефектів пенетрантом:

**- підігрівання пенетранта** до 50...60°C, що сприяє зниженню його в'язкості та поверхневого натягу і скорочує час заповнення дефектів у 4...5 разів;

**- підігрівання деталі** до 60...100°C – сприяє пришвидшенню заповнення порожнин пенетрантом і підвищенню чутливості. Останнє пояснюється збільшенням розкриття дефекту, а також зменшенням об'єму повітря в порожнинах під час занурення деталі в рідину;

**- вакуумування** – сприяє підвищенню чутливості та продуктивності капілярного контролю. У камері 1 (рис.4.28), де розташована посудина 2 з пенетрантом, створюють вакуум, потім занурюють деталь 3 в пенетрант, витримують деякий час, піднімають деталь, розгерметизовують камеру і атмосферний тиск „заганяє” пенетрант у порожнини дефектів.

**Видалення з поверхні деталі надлишку пенетранта** – здійснюють такими способами:

**- протиранням** поверхні деталі ганчір'ям або спеціальним папером з використанням розчинників або без них;

**- промиванням** деталей очищувальними розчинами або водою;

**- обдуванням** стиснутим повітрям з піском, тирсою тощо.



Ця операція досить відповідальна: під час інтенсивного протирання або промивання можливе видалення пенетранта із порожнин дефектів, а недостатнє протирання і промивання – призводить до фальшивих дефектів.

**Гашення пенетранта** на поверхні деталі, особливо з люмінофором, здійснюють обробленням спеціальними гасителями: їх наносять пензлем, розпилюванням або занурюють у них деталь, що є найбільш продуктивним способом.

**Нанесення на поверхню деталі проявника** – здійснюють у випадку, коли цього вимагає технологія. Під час використання самопроявникових пенетрантів проявник не наносять.

Нанесення проявника здійснюють з урахуванням таких факторів:

- бажаної чутливості методу;
- типу та властивостей проявника;
- конфігурації деталі;
- умов контролю.

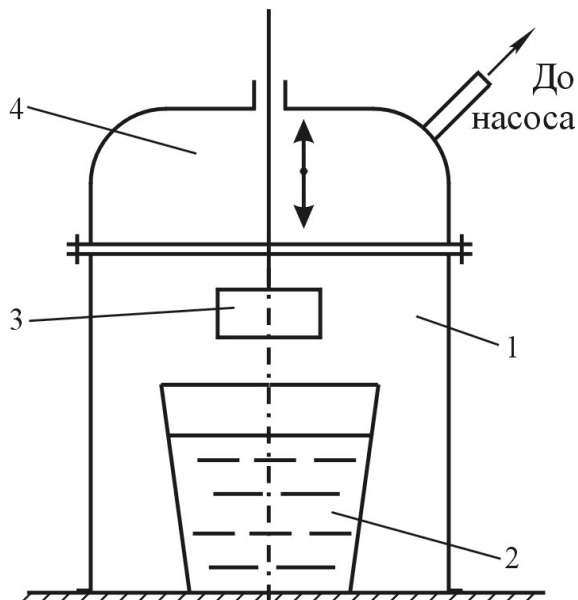


Рис.4.28. Схема нанесення індикаторного пенетранта зануренням виробу у вакуумній камері: 1 – камера; 2 – посудина з пенетрантом; 3 – деталь; 4 – кришка

верхні.

Проявник наносять такими способами:

- **посипанням** – використовують для порошкоподібних проявників: тальку, крейди, бентоніту тощо. Операцію виконують, переважно, ручним способом (низька продуктивність) або розпилюванням порошку в спеціальних камерах за допомогою стиснутого повітря, вібраторів, вентиляторів тощо;

Як проявники пенетранта використовують:

- порошок, який складається із білого сорбента і добре поглинає пенетрант;
- суспензію, яка складається із білого сорбента, диспергованого в легких розчинниках, воді, сумішах;
- фарбу, яка складається із пігментованого або безколірного розчину, що швидко сохне і поглинає пенетрант;
- плівку, яка складається із безколірної або білої стрічки з проявником, наприклад, з липким шаром, що поглинає пенетрант і відокремлюється разом з індикаторним рисунком дефекту від контрольованої поверхні.

- **нанесенням пензлем** – простий спосіб для фарб і суспензій. Спосіб малопродуктивний і має невисоку чутливість через механічну дію пензля на пенетрант у дефектах;

- **розпиленням** – використовують для суспензій і фарб. Спосіб має найвищі продуктивність і достовірність результатів; використовують пневматичне, механічне розпилення та розпилення в електростатичному полі:

1) **пневматичне розпилення** – супроводжується великими утратами проявника через туманоутворення (до 20...40%), а під час використання проявника на основі органічних розчинників забруднюється атмосфера приміщення, підвищується вибухонебезпечність;

2) **механічне розпилення** – супроводжується меншим туманоутворенням, але втрати проявника залишаються досить високими;

3) **розпилення в електростатичному полі** (пневматичне або механічне) – забезпечує рівномірний шар проявника на поверхні деталі, при цьому його витрати в порівнянні з пневматичним способом зменшуються на 30...70%.

Сутність методу: деталь 3 підключають до позитивного полюса джерела живлення (рис.4.29), а корпус розпилювача або сітки 2, яку розташовують на деякій відстані від поверхні виробу – до негативного полюса.

Проявник розпилюють з використанням сопла 1 в електричне поле: часточки проявника набувають заряд і внаслідок сил електричного притягування попадають на поверхню деталі.

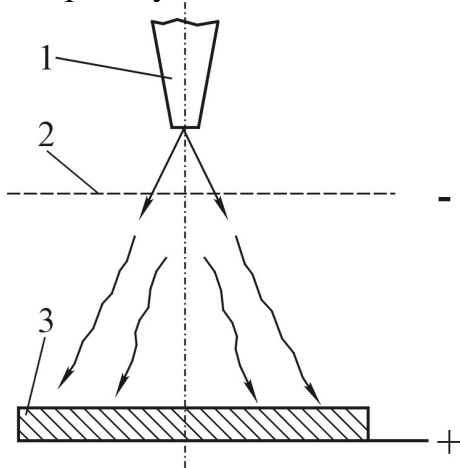


Рис.4.29. Схема нанесення на контрольовану поверхню пенетранта в електростатичному полі: 1 – сопло; 2 – металева сітка; 3 – деталь

Недоліками цього способу є необхідність спеціального устаткування та підбір рецептури проявника з певними електрофізичними властивостями;

- **зануренням або обливанням** – спосіб забезпечує високу продуктивність контролю, економію матеріалу, але цим способом важко досягти рівномірного шару проявника на поверхні деталі, тому його використовують для контролю деталей простої конфігурації;

- **накладанням липких плівок** – використовують для локального контролю складних за геометрією деталей.

**Виявлення та розшифрування індикаторних рисунків.** Для проявлення індикаторного рисунка необхідний певний час, щоб пенетрант встиг проникнути в проявник. Цей час може змінюватися від декількох хвилин до декількох годин. Наприклад, під час виявлення дефектів з використанням порошків і суспензій деталі витримують 1...30 хв., а при використанні фарб – 15...60 хв.

Прискорення процесу досягають:

- **підігріванням** деталей до 40...50°C;
- **вібрацією** – пружно-деформаційною дією на поверхню виробу;
- **вакуумуванням** – створенням вакууму над поверхнею об'єкта.

**Огляд деталей здійснюють у три етапи:**

- здійснюють аналіз якості нанесення проявника;
- виконують загальний огляд для виявлення індикаторних рисунків;

- аналізують елементи індикаторного рисунка.

Якщо проявник нанесено неякісно, то контроль повторюють.

Загальний огляд проводять візуально або за допомогою луп з великим полем огляду, потім проводять аналіз виявлених індикаторних рисунків. Якість розшифрування індикаторних рисунків має вирішальне значення. Форма індикаторного рисунка дає уявлення не тільки про вид дефекту, його довжину, але і про його глибину. Розміри дефекту можна оцінити як за шириною індикаторного рисунка і його інтенсивністю, так і за швидкістю його росту.

Характерні ознаки індикаторних рисунків деяких дефектів:

- **суцільні або переривчасті лінії** – характерні для тріщин різного походження та спаїв;

- **рисунки округлої форми** – свідчать про наявність газової шорсткості, ситоподібної раковини або газової поруватості. Необхідно зазначити, що поява круглих індикаторних рисунків свідчить про великі об'єми індикаторної рідини, яка вміститься в порожнинах дефектів. Дійсна форма дефекту при цьому може бути і неправильної форми;

- **рисунки у вигляді групи коротких ліній або сітки** – свідчать про наявність міжкристалевої корозії або розтріскування матеріалу;

- **рисунки у вигляді розсіяних по поверхні виробу дрібних точок** – указує на поруватість, особливо після термічного оброблення.

**Очищення деталей від дефектоскопічних матеріалів після контролю.** За умови придатності контрольованої деталі до експлуатації з її поверхні видаляють проявник, пенетрант і інші матеріали. Спосіб очищення деталі залежить від локальності контролю, вимогової продуктивності, об'єму робіт тощо. Використовують такі способи очищення:

- протирання поверхні деталі з використанням різних розчинників;
- промивання водою або органічними розчинниками з подальшим протиранням поверхні;
- нагрівання деталі до температури згоряння проявника з наступним промиванням і сушінням;
- обдування поверхні деталі стиснутим повітрям з піском, тирсою, дробом тощо;
- зняття з контрольованої поверхні липкої стрічки.

Деякі особливості капілярних методів контролю. Загальним для всіх різновидів капілярного контролю є послідовність технологічних операцій. Але кожний метод має свої особливості.

**Люмінесцентний метод.** Люмінесценцію пенетранта, який вмістить люмінофор і знаходиться в порожнинах дефектів, можна виявити видимим світлом, невидимими ультрафіолетовими променями, рентгенівськими, гама-променями, альфа- та бета-частинками. Таку люмінесценцію називають фотолюмінесценцією. Її використовують у дефектоскопії – під дією збуджувальних, невидимих для ока людини ультрафіолетових променів, люмінофор, який знаходиться в порожнинах дефектів, починає світитися, завдяки чому дефекти стають видимими. На рис.4.30 наведена схема реєстрації дефектів за допомогою люмінесцентного методу.

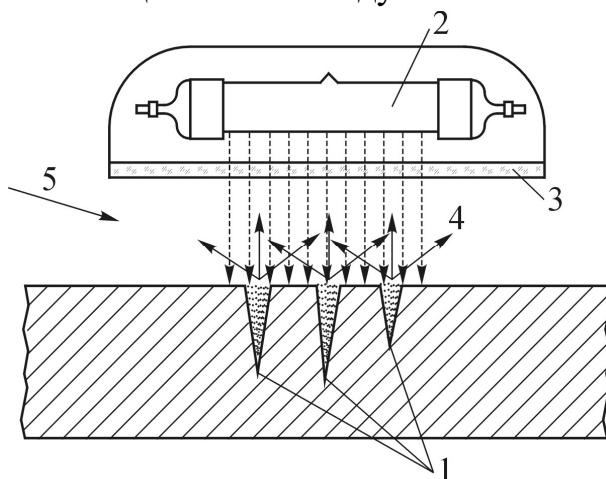


Рис.4.30. Схема люмінесцентного методу контролю: 1 – дефекти; 2 – ртутна лампа; 3 – світлофільтр; 4 – люмінесценція; 5 – напрямок огляду поверхні деталі

ному приміщенні.

Усі люмінесцентні речовини, які використовують у промисловості, мають специфічні особливості, але загальними для них є

Чутливість цього методу залежить від складу використовуваної люмінесцентної речовини і здатності її проникати в найдрібніші порожнини дефектів, виду і потужності джерела збудження люмінесценції тощо. Дефекти виявляються тим краще, чим інтенсивніша люмінесценція (у різних речовин вона різна).

Проте навіть і при високій інтенсивності збудження свічення люмінофора буває настільки слабким, що спостерігати його можливо тільки в затемненому приміщенні.

наступні: основа їх – оливова, вмістить речовини, що утворюють емульсію і добре змиваються водою. Вони можуть утворювати різні відтінки: від білого, жовто-зеленого до червоного і жовтогарячого, дають хорошу контрастність, що повною мірою відповідає вимогам промисловості.

**Кольоровий метод.** Завдяки високій чутливості і відсутності необхідного використання будь-яких видів енергії, метод особливо широко використовують під час ремонтів і профілактичних оглядів машин, авіаційної техніки, навантажених вузлів верстатів тощо.

Для кольорової дефектоскопії використовують пенетрант у вигляді розчину з додаванням барвника, який наносять на поверхню деталі після очищення за наведеною вище технологією. Метод має хорошу контрастність. Недоліком методу є токсичність дефектоскопічних матеріалів.

Відсутність токсичних компонентів і досить висока чутливість вигідно відрізняють **люмінесцентно-кольоровий метод контролю**. Кращі результати контролю одержують під час використання як пенетранта розчину емульгатора ОП-7 у спирті в співвідношенні 1:9 з додаванням родоміну в кількості 30 г/л. Індикаторні рисунки, які при цьому утворюються, добре виявляються не тільки люмінесценцією під дією ультрафіолетових променів, але і дією звичайного освітлення, хоча чутливість у цьому випадку дещо знижується.

**Яскравистий (ахроматичний) метод.** Це метод гасової або оливо-гасової проби. Як пенетрант використовують гас, нев'язку оливу або їх суміш, а як проявник – крейду, яку наносять у вигляді порошку, водної суспензії або суспензії на основі органічних розчинників.

Яскравистий метод часто використовують для контролю герметичності паливних систем, нарізних і зварових з'єднань, резервуарів, балонів, блоків циліндрів двигунів тощо.

**Комбіновані капілярні методи.** Незважаючи на те, що виявлення дефектів здійснюють за допомогою інструментальних методів, наприклад, магнетного, радіографічного, фотографічного тощо, усі технологічні операції, які притаманні капілярним методам, зберігаються.

**Дефектоскопічні матеріали** вибирають залежно від вимог, які пред'являють до об'єкта контролю, його стану і умов контролю. Матеріали укомплектовують у цільові набори, які складають повністю або частково взаємообумовлені спільні дефектоскопічні матеріали. Найбільш поширені вітчизняні дефектоскопічні матеріали наведені в табл.4.6.

Набір дефектоскопічних матеріалів – це взаємозалежне цільове поєднання дефектоскопічних матеріалів: індикаторного пенетранта, проявника, очищувача і гасника.

Кожний компонент набору має своє позначення: індикаторний пенетрант – И; очищувач від пенетранта – М; гасник – Г; проявник пенетранта – П.

Спеціалізовані компоненти, призначені для виявлення дефектів методами капілярного контролю, мають такі групові позначення:

И<sub>1</sub> – кольорові пенетранти, мають характерний кольоровий тон під час спостереження у видимому випромінюванні;

И<sub>2</sub> – люмінесцентні пенетранти, які випромінюють світло під дією довгохвильового ультрафіолетового випромінювання;

И<sub>3</sub> – люмінесцентно-кольорові пенетранти, які мають характерний кольоровий тон під час спостереження у видимому випромінюванні і люмінесцентний – під дією довгохвильового ультрафіолетового випромінювання;

Таблиця 4.6. Найбільш поширені вітчизняні набори дефектоскопічних матеріалів

Номер набору	Дефектоскопічні матеріали набору			Показники призначення набору			
	пенетрант	проявник	очищувач	матеріал об'єкта контролю	шорсткість поверхні Ra, мкм	діапазон температур об'єкта контролю, °C	клас чутливості
1	ЛЖ-6А	ПР-1	ОЖ-1	Метали, пластмаси, скло, кераміка	2,5...5,0	15...35	1
2	К	М	Оливово-гасова суміш	Метали, скло, кераміка	5,0...10,0	-40...40	1
3	ЛЖ-6А	ПР-4	ОЖ-1	Метали, пластмаси, скло, кераміка	2,5...5,0	15...35	2
4	ЛЖ-12	Оксид магнію	ОЖ-1	Так само	необроблена поверхня (12,5...50,0)	15...35	2
5	ЛЖ-4	Так само	Вода ПАР <sup>3</sup>	Так само	Так само	15...35	3
6	ЛЖ-12	ПР-5	ОЖ-1	Так само	2,5...5,0	15...35	2

7	ЛЖ-1 або гасовий розчин ЛЖ-1К	ПР-4	ОЖ-1	Так само	необроблена поверхня (12,5...50,0)	15...35	2
8	ЛЖ-1 або гасовий розчин ЛЖ-1К	Оксид магнію	Вода ПАР <sup>3</sup>	Так само	Так само	15...35	3
9	Норіол-А гасовий розчин	ПР-4	ОЖ-1	Так само	2,5...5,0	15...35	2

И<sub>4</sub> – хімічно активні пенетранти, призначені для хімічної взаємодії з відповідними проявниками з метою утворення специфічного індикаторного рисунка;

И<sub>5</sub> – ахроматичні пенетранти, які під дією видимого випромінювання утворюють чорне або сіре зображення;

И<sub>6</sub> – інші пенетранти;

М<sub>1</sub> – органічні очищувачі;

М<sub>2</sub> – водні очищувачі;

М<sub>3</sub> – інші очищувачі;

Г – часники пенетранта – уявляють собою суміші для гашення кольору або люмінесценції залишків пенетранта на кольоровій поверхні;

П<sub>1</sub> – порошкові проявники – білий дрібнодисперсний сорбент, який поглинає пенетрант;

П<sub>2</sub> – суспензійні проявники – сорбенти, дисперговані в летких розчинниках, воді або сумішах, які швидко висихають і поглинають пенетрант;

П<sub>3</sub> – фарбові проявники (лаки), дифузійні, які складаються із пігментованого або безбарвного рідкого розчину, що швидко висихає і поглинає пенетрант;

П<sub>4</sub> – плівкові проявники, дифузійні, які уявляють собою безбарвну або білу плівку з проявниковим липким шаром, що поглинає пенетрант;

П<sub>5</sub> – інші проявники.

Сумісність дефектоскопічних матеріалів у наборі або поєднанні обов'язкова. Компоненти набору не повинні погіршувати експлуатаційні якості матеріалу об'єкта, який піддавався контролю.

#### 4.3.4 Магнетні методи контролю

Магнетні методи контролю засновані на реєстрації магнетних полів розсіювання, які виникають над дефектами в контрольованому об'єкті.

Методи використовують тільки для контролю виробів, виготовлених із феромагнетних матеріалів, які здатні намагнетовуватися під дією зовнішнього магнетного поля і зберігати частково набуту ними намагнетованість після видалення зовнішнього поля.

За допомогою магнетних методів виявляють:

- несущільності матеріалу виробу, які розташовані на його поверхні або в підповерхневих шарах: тріщини (утомні, шліфувальні, гартувальні, зварові тощо); розшарування (розташовані не паралельно поверхні); флокени, непровари стикового шва, неметалеві вкраплини;
- відхилення структури металу від вимогової (наприклад, феритні вкраплини в деталях із аустенітних сталей), тобто контролюють правильність здійснення режимів термічного оброблення;
- відхилення товщини покриття на поверхні виробів із феромагнетного або немагнетного матеріалу від заданої.

Магнетні методи використовують і для корегування окремих технологічних процесів виготовлення деталей (шліфування, зварювання, кування, штампування тощо).

За способом одержання первинної інформації розрізняють такі методи магнетного контролю:

- |                                |         |
|--------------------------------|---------|
| – магнетопорошковий            | – МП;   |
| – магнетографічний             | – МГ;   |
| – ферозондовий                 | – ФЗ;   |
| – з використанням ефекту Холла | – (ЕХ); |
| – індукційний                  | – І;    |
| – пондеромоторний              | – ПМ;   |
| – магнеторезисторний           | – МР.   |

У промисловості частіше використовують магнетопорошковий, магнетографічний і ферозондовий методи.

Із наведених методів тільки магнетопорошковий потребує обов'язкової участі в контрольних операціях людини; інші методи видають первинну інформацію у вигляді електричних сигналів, що дає можливість здійснити повну автоматизацію процесів контролю.

Методи МП і МГ є контактними, тобто такими, для яких обов'язковим є доторкування перетворювача (магнетного порошку або магнетної стрічки) до поверхні виробу. Решта методів магнетного контролю є безконтактними, тобто інформацію одержують після розташування перетворювачів на достатньо близькій відстані від поверхні контрольованого об'єкта.



Завдяки високій чутливості магнетних методів, об'єктивності, простоті і швидкості операцій, точності виявлення дефектів і надійності їх широко використовують у виробничих умовах.

До переваг цих методів слід також віднести можливість використання їх для контролю деталей будь-якої конфігурації і розмірів.

Отже магнетні методи контролю розвивають у двох напрямках: перший – з використанням як індикаторів феромагнетних порошоків, другий – з використанням як індикаторів електромагнетних і електронних систем.

Фізичні основи методу представлені на рис.4.31. Магнетний потік, який пронизує контрольовану деталь, що розміщена між полюсами магнету і має дефекти у вигляді тріщини 1 та неметалевої вкраплини 2, вимушений обгинати перешкоди, внаслідок чого здійснюється часткове розсіювання в цих місцях магнетних силових ліній (створюється поле розсіювання). Залишається тільки зареєструвати це поле за допомогою магнетного порошку, магнетної стрічки або іншими методами.

Магнетний потік під час проходження через бездефектну частину деталі не змінює свого напрямку. Не змінюється напрямок магнетного потоку і в тому випадку, коли він співпадає з напрямком розташування дефекту (див. рис.4.31, дефект 3).

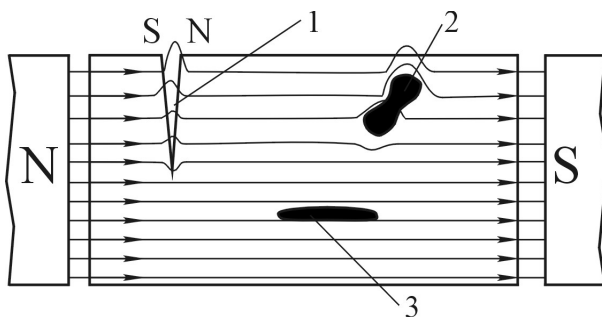


Рис.4.31. Схема, яка пояснює фізичну сутність магнетного методу контролю: 1 – тріщина; 2 – неметалева вкраплина; 3 – дефект, розташований уздовж магнетних силових ліній (поле розсіювання відсутнє)

Поле розсіювання існує на поверхні деталі як під час знаходження її в зовнішньому магнетувальному полі, так і після зняття цього поля, оскільки деталь залишається намагнетованою залишковою індукцією.

Напруженість магнетного поля розсіювання і його характер визначаються великою кількістю факторів.

Серед цих факторів:

- величина напруженості магнетувального поля;

- магнетна проникність матеріалу вибору;
- розмір виробу і його форма;
- форма, розмір, розташування і орієнтація дефекту.

Розмір дефекту, який можна виявити, залежить від напруженості поля розсіювання, яке обумовлене дефектом.

Напруженість поля розсіювання швидко зменшується із збільшенням глибини залягання дефекту під поверхнею.

Найпростішим способом виявлення магнетних полів розсіювання є переміщення над намагнетованим виробом звичайної магнетної стрілки. Стрілка, яку розташовують над поверхнею виробу, буде співпадати з напрямком магнетних силових ліній і таким чином указувати на будь-яке спотворення магнетного поля. Проте істотним недоліком цього методу є низька чутливість і незручність його використання.

Основним же способом, за допомогою якого можна виявити магнетне поле розсіювання, є використання дрібнодисперсного феромагнетного порошку.

**Способи намагнетовування виробів.** Намагнетовування – одна із основних операцій магнетного контролю. У магнетній дефектоскопії використовують такі величини:

– **намагнетовуваність** – векторна фізична величина, яка характеризує стан речовини під час її намагнетовування (дія на неї магнетного поля). Кількісно вона дорівнює:

$$M = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{\Sigma m}{V}, \quad (4.15)$$

де  $V$  – об'єм речовини;

$m$  – елементарний магнетний момент.

Намагнетованість, як і магнетне поле, вимірюється в А/м;

– **магнетна індукція** – силова характеристика магнетного поля (величина векторна):

$$B = \mu_0 (H + M), \quad (4.16)$$

де  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнетна стала;

$H$  – напруженість магнетного поля.

Одиниця виміру магнетної індукції – тесла (Тл);

– **магнетна сприйнятливість** – нерозмірна величина  $\chi_m$ , яка характеризує здатність речовини (магнетика) намагнетовуватися в магнетному полі. Для ізотропного магнетика  $\chi_m = M/H$ , у діамагнетиків  $\chi_m < 0$ , у парамагнетиків  $\chi_m > 0$ , у феромагнетиків  $\chi_m \gg 0$  ( $10^4$  і більше);

– **криві намагнетовування** – графічне зображення функції  $B = f(H)$ . Залежно від способу одержання цих функцій розрізняють декілька типів кривих намагнетовування:

1) **початкова** – одержують поступовим збільшенням  $H$  із стану  $B = 0$  і  $H = 0$  до  $B_{max}$ ;

2) **негістерезна** (ідеальна) – одержують так само, але вимірюванням індукції в кожній точці кривої намагнетовування під дією змінного поля із зменшуваною до нуля амплітудою;

3) **основна** (комутаційна) – одержують циклічним перемагнетовуванням (крива є місцем вершин симетричних петель гістерези).

- **гістереза** – під час циклічного перемагнетовування феромагнетика функція  $\mathbf{B(H)}$  утворює петлю магнетної гістерези (рис.4.32);

- **магнетна індукція насичення,  $\mathbf{B_m}$**  – індукція, яка відповідає максимуму напруженості магнетного поля;

- **залишкова магнетна індукція,  $\mathbf{B_R}$**  – індукція, яка залишається в попередньо намагнетованому до насичення матеріалі після зняття магнетного поля;

- **коерцитивна сила,  $\mathbf{H_c}$**  – напруженість магнетного поля, яка необхідна для повного розмагнетовування попередньо намагнетованого феромагнетика;

- **магнетна проникність** – відношення щільності магнетних силових ліній у даній речовині (магнетної індукції,  $\mathbf{B}$ ) до щільності магнетних силових ліній у вакуумі, тобто до щільності силових ліній зовнішнього поля (напруженість зовнішнього поля,  $\mathbf{H}$ ):

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (4.17)$$

- **коефіцієнт знемагнетовування** – під час намагнетовування виробів розімкненої форми в зовнішньому полі, на їх кінцях утворюються полюси, які створюють розмагнетовувальне поле.

Отже криві намагнетовування металу утворюють петлю гістерези (див. рис.4.32), площа якої характеризує кількість енергії, що поглинається (утрати на гістерезу).

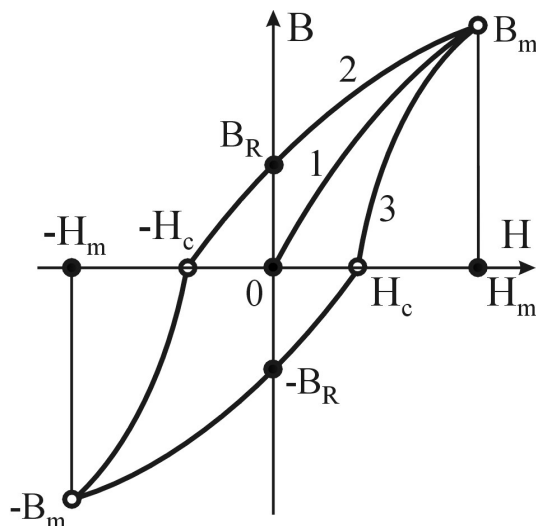


Рис.4.32. Петля гістерези з позначками магнетних характеристик

Під час збільшення напруженості зовнішнього магнетного поля  $\mathbf{H}$ , магнетна індукція  $\mathbf{B}$  змінюється за кривою 1 і досягає максимуму  $\mathbf{B_m}$  при  $\mathbf{H_m}$ . Якщо напруженість зовнішнього поля зменшити від  $\mathbf{+H_m}$  до  $\mathbf{-H_m}$ , то магнетна індукція буде змінюватися за кривою 2. Значення  $\mathbf{B_R}$  при  $\mathbf{H = 0}$  називають **залишковою намагнетованістю**, або такою, що залишається в деталі після зняття зовнішнього магнетного поля. Величина  $\mathbf{H_c}$  ( $\mathbf{-H_c}$ ) – коерцитивна сила (при  $\mathbf{B = 0}$ ), яка необхідна для повного знемагнетовування виробу.

Залежно від кривої гістерези розрізняють магнето-м'які і магнето-тверді сплави. Перші мають вузьку петлю, другі - широку петлю гістерези.

**Магнето-м'які** сплави використовують для виготовлення литих деталей електротехнічної промисловості, які працюють як магнетопроводи у магнетному полі (полюси, полюсні колеса, кожухи генераторів, моторів тощо). Таким деталям притаманні висока індукція в умовах сильних або слабких магнетних полів, мала коерцитивна сила і висока магнетна проникність. Це низьковуглецеві сталі або деталі після відпалу.

**Магнето-тверді** сплави використовують для виготовлення постійних магнетів. Для підвищення сталості намагнетовування, на відміну від магнето-м'яких, такі сплави повинні мати високі значення коерцитивної сили і залишкової індукції. Це деталі після гартування, виготовлені з високовуглецевих сталей або литтям у кокіль.

Залежно від фізичних властивостей металу, з якого виготовлений контрольований виріб, використовують поздовжнє, циркулярне та комбіноване намагнетовування.

**Поздовжнє (полюсне) намагнетовування** – здійснюють розміщенням контрольованого виробу між полюсами (полюсними накопичувачами) постійного магнету (рис.4.33, а, б) або електромагнету (рис.4.33, в), в магнетному полі соленоїда (рис.4.33, г) або пропусканням струму через дріт (кабель), навитий на виріб у вигляді соленоїда (рис.4.33, д).

Для намагнетовування виробів використовують як постійний, так і змінний струм.

Поздовжнє намагнетовування доцільно використовувати в тому випадку, коли можливі дефекти розташовуються перпендикулярно (або близько до цього) поздовжній осі виробу. Деталь розташовують уздовж магнетних силових ліній. Мінімальний кут між віссю дефекту і силовими лініями, при якому можливе виявлення дефекту, повинен бути не менше 30°.

З метою ефективного використання цього методу контрольовані деталі розташовують найбільшим розміром уздовж магнетних силових ліній.

Короткі вироби, для яких  $l:d < 3...5$  ( $l$  – довжина виробу,  $d$  – діаметр), намагнетовують одночасно по декілька штук. Вироби розташовують уздовж осі соленоїда так, щоб вони доторкувалися один одного. Для цього використовують жолоби із немагнетного матеріалу або скріплюють вироби струбцинами. Окремо короткі деталі поздовжньо важко намагнетувати, оскільки буде сильно впливати знемагнетувальний фактор: дві, розташовані поруч деталі частково розмагнетовують одна одну, оскільки їх магнетні поля направлені назустріч одне

одному. Збільшення кількості деталей призводить до зростання загального знемагнетовування, а тому намагнетованість кожної деталі зменшується.

Намагнетовувану поздовжньо деталей з великим поперечним перерізом можна представити як таку, що складається із великої кількості елементів малого перерізу, які знемагнетовують один одного. Отже, при однаковій довжині деталі чим більша площа поперечного перерізу, тим до меншої залишкової намагнетованості така деталь буде намагнетована.

Намагнетовування за допомогою гнучкого кабелю використовують для контролю великогабаритних деталей, які не можна розмістити в стаціонарному соленоїді.

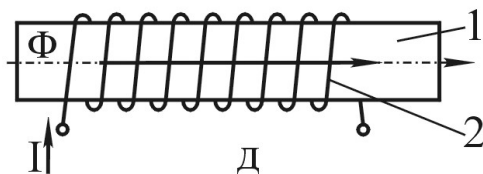
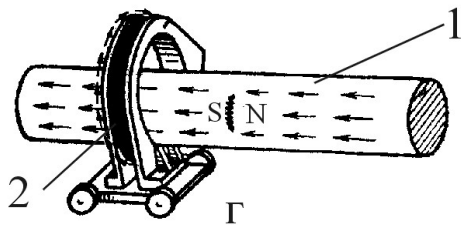
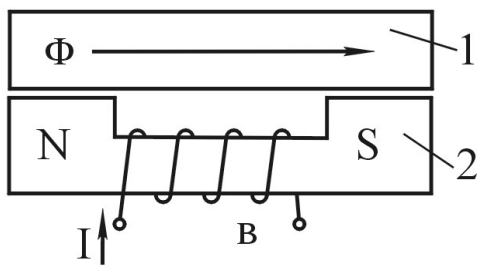
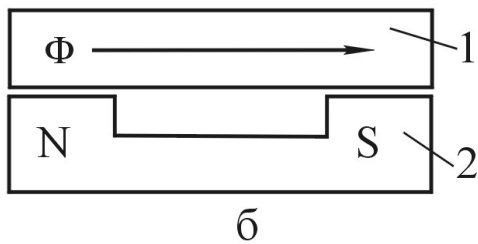
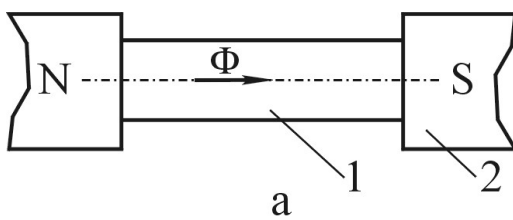


Рис.4.33. Схеми поздовжнього намагнетовування деталей: а, б – за допомогою постійного магнету; в – за допомогою електромагнету; г – в магнетному полі соленоїда; д – пропусканням струму через дріт, навитий на виріб у вигляді соленоїда; 1 – деталь; 2 – постійний магнет, електромагнет або соленоїд

редньо через виріб (виливок) (рис.4.34, а) або через стрижень чи гнучкий кабель із немагнетного матеріалу з високою електропровідністю (мідь, латунь, алюміній), вставлені в порожнину виробу (рис.4.34, б, в).

Електричний струм, який проходить через прямий провідник, створює циркулярне магнетне поле навколо цього провідника.

Деталь, намагнетовувана таким способом, також має циркулярне магнетне поле, тобто магнетні силові лінії мають вигляд концентричних кіл, розташованих у площині, перпендикулярній напрямку струму, який протікає через деталь або провідник.

Циркулярне намагнетовування використовують для виявлення поздовжніх дефектів (тріщин різного походження, просіків тощо) і радіальних тріщин на торцевих поверхнях.

Циркулярне поле можна створювати і на окремих відрізках виробу (рис.4.34, г).

Для цього контакти розташовують так, щоб струм проходив тільки через контрольований відрізок виробу в необхідному напрямку. Для рівномірного розподілу струму у виробі і щоб уникнути пропиків необхідно між виробом і електродами створювати надійний контакт, а час намагнетовування повинен бути мінімальним (не більше 1 с).

Циркулярне намагнетовування доцільно використовувати для контролю довгих деталей малого перерізу з поздовжніми дефектами (наприклад, прокат або заготовки, одержані безперервним литтям), а також деталей з внутрішніми отворами, через які пропускають провідник (наприклад, зубчасті колеса).

**Комбіноване намагнетовування** – здійснюють одночасною дією на виріб двох взаємно перпендикулярних магнетних полів (рис.4.35).

У цьому випадку виникає підсумкове магнетне поле, величина і напрямок якого визначається двома магнетними полями.

Підсумкове поле змінюється як за величиною, так і за напрямком, якщо одна або обидві складові є змінними величинами.

Краще використовувати одночасно поздовжнє і циркулярне намагнетовування.

При намагнетовуванні за допомогою соленоїда необхідно пам'ятати, напруженість магнетного поля посередині довжини соленоїда приблизно вдвічі вища, ніж на його краях.

**Циркулярне намагнетовування** – здійснюють пропусканням струму безпосередньо

Перевагою контролю з використанням такого магнетного поля є та, що магнетні силові лінії в певному напрямку будуть пересікати дефекти будь-якого спрямування, оскільки вектор підсумкового поля  $\mathbf{H}_{\text{пн}}$  переміщується в межах кута  $\alpha$ , який досягає  $90^\circ$ , рис.4.36.

Залежно від магнетних властивостей матеріалу, з якого виготовлений контрольований об'єкт, під час виконання магнетного контролю використовують два його способи:

- контроль на залишковій намагнетованості;
- контроль у прикладеному магнетному полі.

**Контроль деталей на залишковій намагнетованості** – використовують у тому випадку, коли матеріал деталі здатний накопичувати залишкову магнетну індукцію  $B_R > 6000 \dots 8000$  Тл та коерцитивну силу більше  $10 \dots 12$  ерстед, тобто матеріал, який відносять до магнето-твердих.

**Контроль деталей у прикладеному магнетному полі** – полягає в тому, що виріб під час контролю витримують під дією зовнішнього магнетного поля.

Цей спосіб використовують для контролю виробів, які виготовлені із магнето-м'яких матеріалів, що мають невеликі залишкову індукцію та коерцитивну силу.

Спосіб є більш чутливим, оскільки в цьому випадку використовують магнетне поле з високою напруженістю, значно вищою, ніж під час виконання контролю на залишковій індукції.

Проте контроль на залишковій намагнетованості має ряд переваг:

- можливість нанесення проявника зануренням у нього контрольованого виробу;
- вища продуктивність;
- менша вірогідність появи несправжніх дефектів.

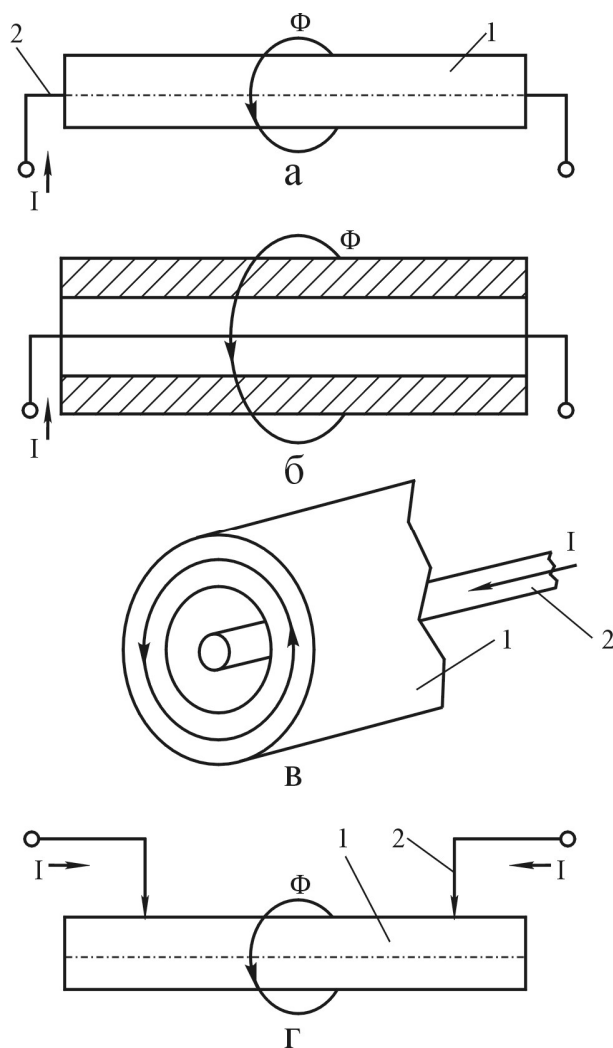


Рис.4.34. Схеми циркулярного намагнетовування деталей: а – пропусканням електричного струму через деталь; б, в – пропусканням електричного струму через провідник, вставлений у порожнину виробу; г – пропусканням електричного струму через відрізок контрольованого виробу; 1 – деталь; 2 – електроди або провідник

струми за характером створюваних ними магнетних полів наближаються до постійного.

Велике значення для достовірного виявлення дефектів має правильний вибір величини напруженості магнетного поля, яка залежить від форми, розташування можливого дефекту і магнетних характеристик матеріалу контрольованого виробу. Надмірна напруженість магнетного поля може сприяти осадженню феромагнетного порошку по всій поверхні виробу і появі несправжніх дефектів.

Контроль у прикладному магнетному полі виконують, переважно, з використанням комбінованого намагнетовування. Для намагнетовування виробів використовують змінний, постійний, випрямлений одно- та двопівперіодний і трифазний струми.

Змінний струм ефективніший для виявлення поверхневих дефектів, оскільки дія магнетного поля обмежується поверхневими шарами виробу через скин-ефект. Змінний струм використовують і для розмагнетовування деталей. Для виявлення підповерхневих дефектів краще використовувати постійний струм, оскільки створене ним магнетне поле проникає глибоко у виріб і рівномірно розподіляється по його перерізу.

Однопівперіодний випрямлений струм ефективний для виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів у випадку „сухого” способу контролю.

Випрямлений двопівперіодний і трифазний



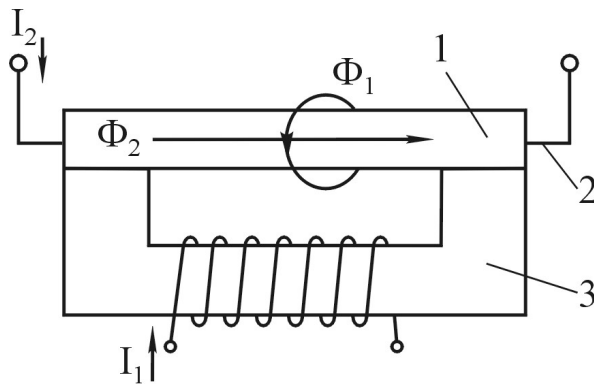


Рис.4.35. Схема комбінованого намагнетовування: 1 – виріб; 2 – електроди; 3 – електромагнет

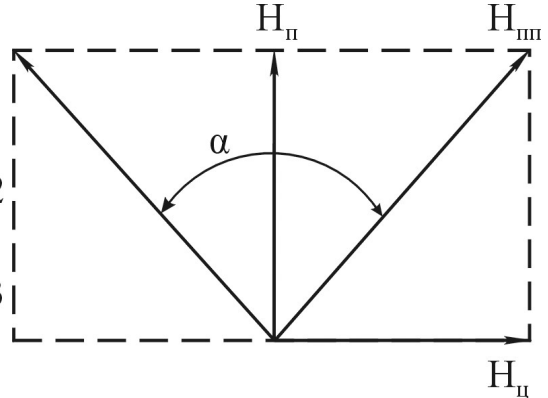


Рис.4.36. Схема, яка пояснює ефективність комбінованого намагнетовування виробів:  $H_n$  – вектор поздовжнього намагнетовування;  $H_c$  – вектор циркулярного намагнетовування

Недостатня напруженість призводить до зменшення можливості виявлення підповерхневих дефектів і зниження чутливості під час виявлення дрібних поверхневих дефектів.

Під час використання циркулярного намагнетовування необхідно пам'ятати, що при пропусканні струму через порожнисту деталь зовнішня поверхня намагнетовується інтенсивніше, ніж внутрішня.

Якщо струм пропускати через стрижень, розташований усередині порожнистої деталі, намагнетовуються обидві поверхні, але внутрішня намагнетовується інтенсивніше. Після циркулярного намагнетовування виробів циліндричної форми може бути досягнута більша залишкова намагнетованість, ніж після поздовжнього, оскільки силові лінії замкнені усередині деталі і відсутні полюси, а отже, і знемагнетувальний фактор.

Силу струму для циркулярного намагнетовування визначають, виходячи із необхідної напруженості магнетного поля на поверхні виробу та його габаритів.

Силу струму визначають за такими формулами:

– для циліндричних виробів

$$I = 0,25H \cdot D, \quad (4.18)$$

де  $H$  – напруженість магнетного поля на поверхні виробу, ерстед;  
 $D$  – діаметр виробу, мм;

– для порожнистих виробів циліндричної форми

$$I = \frac{H \cdot D}{4\pi} = \frac{0,25}{n} H \cdot D, \quad (4.19)$$

де  $D$  – середній діаметр кільця, мм;

$n$  – кількість витків обмотки;

– для виробів, які мають форму дисків або пластин

$$I = \frac{H \cdot b}{2\pi} = 0,16 H \cdot b, \quad (4.20)$$

де  $b$  – діаметр диска або ширина пластини, мм.

Останню формулу можна використовувати для наближеного розрахування сили струму під час циркулярного намагнетовування для контролю деталей таврового, двотаврового, швелерного і кутового профілів.

У цьому випадку за ширину  $b$  приймають суму лінійних розмірів, наприклад, для таврового перерізу це буде сума ширини полиці і висоти стінки.

Під час намагнетовування за допомогою соленоїда треба враховувати, як уже відзначалось, що напруженість магнетного поля посередині соленоїда приблизно вдвічі вища, ніж на краях, тому для того, щоб посередині соленоїда напруженість магнетного поля дорівнювала заданій  $H$ , через обмотку необхідно пропустити струм, силу якого розраховують за формулою:

$$I = \frac{H \cdot \sqrt{D^2 - l^2}}{1,256 \cdot n}, \quad (4.21)$$

де  $D$  – середній діаметр соленоїда, мм;

$l$  – довжина соленоїда, мм;

$n$  – кількість витків соленоїда.

Необхідно також пам'ятати, що при використуванні постійного струму напруженість магнетного поля буде тим більшою, чим більше буде витків, а при використанні змінного струму кількість витків треба обмежувати через дію індуктивності (кількість витків повинна бути не більше трьох...п'яти).

**Магнетопорошковий метод контролю.** Магнетопорошковий метод – один із поширених у промисловості методів магнетного контролю. Його використовують для виявлення поверхневих порушень суцільності з шириною розкриття біля поверхні до 0,001 мм і глибиною до 0,01 мм.

Чутливість методу підвищується при використанні флуоресцтивного магнетного порошку (магнетно-люмінесцентний метод). У цьому випадку мінімальна ширина виявленого дефекту біля поверхні може досягати 0,0005 мм, а довжина в глибину виробу – 0,005 мм.

Метод використовують і для виявлення відносно великих підповерхневих дефектів, які розташовані на глибині до 2...3 мм, рис.4.37. Від глибини залягання дефекту залежить ширина нашарування над ним феромагнетного порошку: чим глибше розташований дефект, тим ширша смуга нашарування порошку. Дефект, який залягає глибше 3...4 мм, виявити практично неможливо, оскільки смуга нашарування порошку стає розмитою і нечіткою. У цьому випадку необхідно вибрати відповідний струм і його силу, рис.4.38.

Під час контролю виробів за допомогою магнетопорошкового методу магнетне поле розсіювання, яке виникає на поверхні контролюваного виробу в місцях порушення суцільності, виявляють феромагнетним порошком.

Оскільки магнетне поле розсіювання над місцем порушення суцільності матеріалу виробу неоднорідне, то на феромагнетні часточки діє сила, яка прагне перемістити їх у місце найвищої напруженості поля, тобто в те місце поверхні виробу, де знаходиться порушення суцільності матеріалу.

У цьому місці і накопичуються феромагнетні часточки. Площа накопиченого порошку буде більшою площі дефекту, тому магнетопорошковим методом можна виявити дуже дрібні дефекти.

Ефективність методу залежить від здатності магнетних часточок переміщатися під дією магнетних полів розсіювання.

Під час нанесення на деталь феромагнетні часточки перебувають у зваженому стані в повітрі („сухий” метод) або в рідинах - мінеральній оліві, гасові, воді, тобто в суспендованому стані („мокрый” метод).

„Сухий” метод більш ефективний для виявлення підповерхневих дефектів або під час контролю виробів з підвищеною шорсткістю поверхні, оскільки сухий порошок меншою мірою затримується поверхневими нерівностями.

Для надання часточкам сухого порошку більшої рухливості його розпиляють у вигляді хмарок, при цьому виріб інколи струшують.

Магнетопорошковий метод має такі переваги:

- можливість здійснювати контроль будь-якого виробу, виготовленого із феромагнетного матеріалу;
- можливість виявити з достатнім ступенем достовірності всі порушення суцільності матеріалу виробу, які розташовуються на поверхні або в підповерхневих шарах;
- висока чутливість;
- простота методики контролю і висока продуктивність;

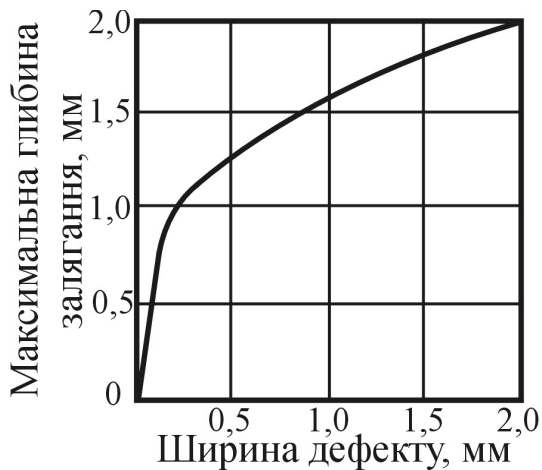


Рис.4.37. Глибина залягання дефекту, який можна виявити магнетопорошковим методом, залежно від його ширини



Рис.4.38. Чутливість магнетопорошкового методу залежно від сили струму і способу нанесення порошку:  
 1 – змінний струм „мокрий” метод;  
 2 – змінний струм „сухий” метод;  
 3 – постійний струм „мокрий” метод; 4 – постійний струм „сухий” метод

стання спеціального устаткування;

- неможливість виявлення дефектів, які розташовані на глибині більше 3 мм від поверхні;

- можливість контролювати деталі, які знаходяться в конструкції;

- можливість використання портативного устаткування.

Магнетопорошковий метод використовують і для контролю деталей після оксидування, фарбування або нанесення гальванічного покриття (цинку, кадмію, хрому тощо) за умови, що товщина немагнетного покриття не перевищує 50...80 мкм. Це пояснюється тим, що при товстіших покриттях над дефектами утворюється дуже слабе поле розсіювання.

Магнетопорошковим методом не рекомендують контролювати зварові шви на феромагнетних матеріалах після використання елек-тро-дів із аустенітної сталі, оскільки феромагнетний порошок може осаджуватися на межі аустенітного шва, тобто з'являються несправжні дефекти.

До недоліків магнетопорошкового методу можна віднести:

- використання для контролю виробів, виготовлених тільки з феромагнетних матеріалів;

- необхідність викори-

- на достовірність виявлення дефекту справляє вплив велика кількість факторів, у тому числі конфігурація дефекту, його спрямованість, глибина залягання тощо;

- неможливість виявлення дефектів під немагнетними покриттями товщиною більше 50...80 мкм.

**Технологія магнетопорошкового методу.** Основні технологічні операції методу:

- **підготовки виробу до контролю** – на чутливість і надійність магнетопорошкового методу контролю впливає, перш за все, стан поверхні контрольованого виробу. Поверхня повинна бути чистою і сухою. З поверхні видаляють окалину, продукти корозії, пригар, пил, залишки жиру, оливи тощо. Якщо виріб покритий мастилом, останнє видаляють за допомогою органічних розчинників. Виливки рекомендують перед контролем піддавати дробоструминному обробленню. Вологі вироби необхідно сушити або витирати ганчір'ям (білизняним). Підготовки поверхні виробу до контролю здійснюють як при використанні сухого феромагнетного порошку, так і суспензії;

- **намагнетовування виробу** – залежно від геометрії, розмірів, фізичних властивостей металу виробу здійснюють поздовжнє, циркулярне або комбіноване намагнетовування, а контроль виконують на залишковій намагнетованості або в прикладеному магнетному полі;

- **нанесення феромагнетного порошку на поверхню контрольованого виробу** – для виявлення магнетних полів розсіювання використовують сухі магнетні порошки з високою магнетною проникністю і малою коерцитивною силою або суспензії на їх основі. Використовують такі порошки:

1) **магнетит** (закис – оксид заліза  $Fe_3O_4$ ) – порошок чорного або темно – коричневого кольору з розмірами часточок не більше 30 мкм. Використовують для контролю виробів із світлою поверхнею;

2) **гематит** (оксид заліза  $Fe_2O_3$ ) – порошок бурого-червоного кольору, використовують для контролю виробів з темною поверхнею (немагнетна модифікація  $Fe_2O_3$  перетворюється в магнетну після нагрівання до 600...700°C).

3) **світлий порошок**, який одержують змішуванням 80% порошку нікелю та 20% алюмінієвої пудри – використовують для контролю виробів із темною поверхнею. Для контролю виробів із темною поверхнею використовують і пофарбовані порошки, що підвищує контрастність і достовірність результатів контролю;

4) **магнето-люмінесцентний порошок** – готують за такою технологією: 20 г органічного скла розчиняють у 100 г ацетону, перемішують суміш і додають феромагнетний порошок  $Fe_2O_3$  (100 г на 50 г розчину) та порошок люмінофора (на 100 г  $Fe_2O_3$  – 15 г). Після ретельного перемішування і випаровування ацетону залишок подрібнюють,

просівають і використовують для контролю. Як люмінофор використовують люмоген світло-жовтий. Такий порошок забезпечує високу чутливість і полегшує контроль виробів із шорсткою поверхнею. Проте необхідно при цьому передбачити устаткування для огляду виробів в ультрафіолетовому світлі;

5) **як дисперсну фазу в суспензіях** використовують воду, трансформаторну оливу, гас, суміш мінеральної оливи з гасом тощо. До одного літра рідини додають 25...35 г феромагнетного порошку під час контролю на залишковій намагнетованості і 5...10 г – під час контролю в прикладеному магнетному полі. Для забезпечення стабільності суспензії в неї додають поверхнево-активні речовини – емульгатори ОП-7 або ОП-10 –  $5 \pm 1$  г/л.

Використання водяної суспензії потребує ретельного знежирення поверхні виробу.

На чутливість магнетопорошкового методу суттєвий вплив справляє розмір часточок феромагнетного порошку, рис.4.39.

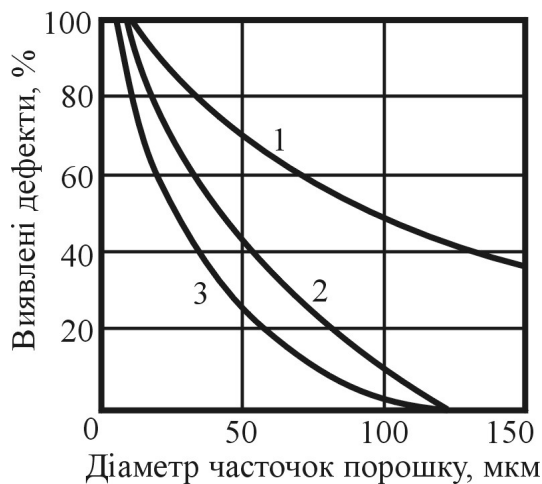


Рис.4.39. Виявляємість дефектів залежно від розмірів часточок магнетного порошку:

- 1 – гартувальні тріщини;
- 2 – міжкристалеві тріщини;
- 3 – шліфувальні тріщини

ного виробу. Для підвищення рухомості часточок порошку виріб злегенька струшують або обдувають повітрям під невеликим тиском. Під час обдування виробу з його поверхні видаляється зайвий порошок.

Суспензії наносять на поверхню виробу пульверизатором, поливанням або зануренням виробу у ванну з суспензією, яку піддають барботуванню;

– **розшифровування результатів контролю** – здійснюють у декілька етапів: виконують огляд виробу безпосередньо після нане-

Нанесення порошку на поверхню контрольованого виробу здійснюють після намагнетовування його або під час намагнетовування (контроль в прикладеному полі) в сухому вигляді або у вигляді суспензії. Більш поширені суспензії, проте використання сухого порошку сприяє кращому виявленню підповерхневих дефектів, а суспензія забезпечує високу рухомість часточок порошку по поверхні виробу.

Сухий порошок наносять за допомогою розпорошувача, просіюванням через сито і зануренням в порошок контрольова-

сення на поверхню порошку або суспензії – якщо використовували оливові суспензії, то огляд здійснюють через 4...6 хв. Для виявлення дрібних дефектів використовують лупи 2...10-кратного збільшення, мікроскопи, ендоскопи тощо. Скупченість порошку свідчить про наявність, місцезнаходження та характер дефекту: тріщини – ламані або звивисті лінії різного напрямку, рис.4.40, неметалеві краплини – ланцюжки або точки різної величини, ситоподібна поруватість – скопичення точок різної величини тощо.

На жаль, в процесі контролю з використанням магнетного порошку реєструються всі спотворення магнетного поля виробу незалежно від того, утворені вони дефектом чи з інших причин, тому оператор повинен мати достатній досвід щодо розшифрування результатів проведеного контролю.

Поява несправжніх дефектів може бути пов'язана з плівкою окалини, яка міцно і щільно зчеплена з поверхнею виробу, місцевим наклепом, структурною неоднорідністю, різкою зміною поперечного перерізу (наприклад, біля отворів і заглибин, біля зубів шестерні і отворів, які зменшують її масу тощо). Скупченість порошку в цьому випадку нагадує розмиті смуги, рис.4.41.

Щоб розшифрувати такий дефект, необхідно зрівняти переріз виробу феромагнетним заповнювачем: вставками, пробками тощо.

Під час повторного контролю такого виробу несправжні дефекти зникають або змінюють розташування.

Для фіксації результатів контролю використовують фотографування, накладання на контрольовану поверхню клейкої прозорої стрічки, яку потім переносять на білий папір разом з магнетним порошком;

– **знемагнетовування виробу** – кожному деталі, яку піддавали магнетному контролю, необхідно знемагнетувати, оскільки залишковий магнетизм справляє шкідливу дію під час експлуатації виробу. Наприклад, шестерні, обертаючись, будуть притягувати металеві часточки (продукти зносу), які збільшують знос її зубів або призводять до інших небажаних наслідків. Окрім цього, якщо поблизу намагнетованих деталей знаходяться точні електромагнетні, електронні і навігаційні прилади, то їх показання будуть невірні. Механічне оброблення не знемагнетованих деталей може призвести до пошкодження їх поверхонь через притягування стружки до деталей і різального інструмента.

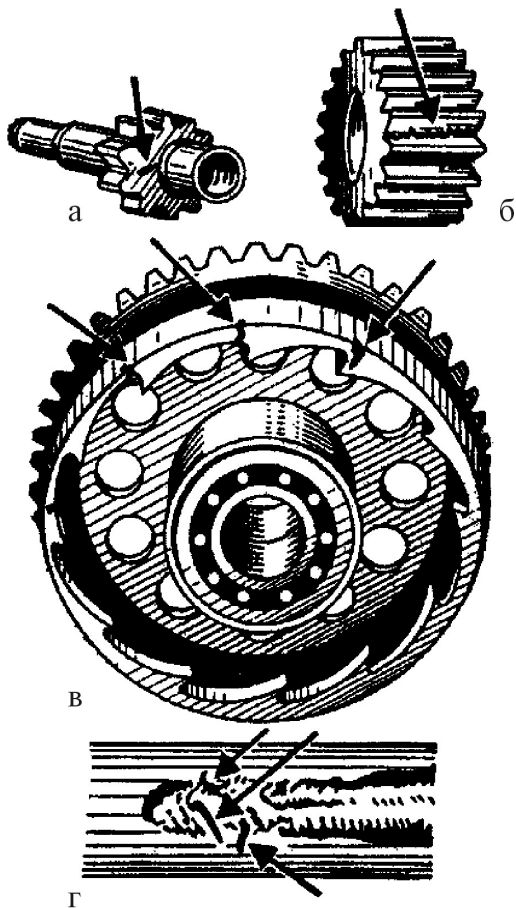


Рис.4.40. Дефекти деталей, виявлені магнетопорошковим методом: а, б – утомні тріщини на шестернях; в – тріщини гартувальні; г – тріщини в зваровому шві

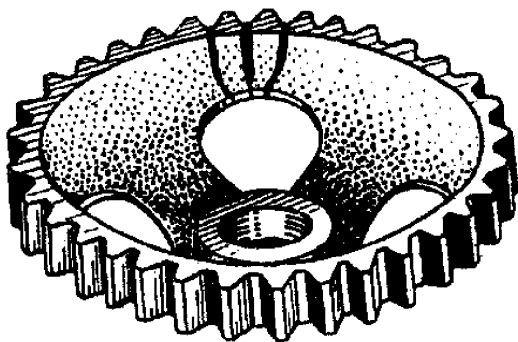


Рис.4.41. Несправжні дефекти шестерні

Перша навитка – збуджувальна, живиться змінним струмом від спеціального генератора, друга – вимірювальна, видає інформацію щодо змін у зовнішніх магнетних полях.

Отже, знемагнетовування проконтрольованих виробів є обов'язковою операцією, яку виконують такими способами:

- видалення деталі із соленоїда, який живиться струмом;
- зменшенням струму в соленоїді до нуля;
- зміною напрямку постійного струму;
- нагріванням деталі до температури вищої точки Кюрі (600...700°C).

Якщо проконтрольовані вироби працюють при таких температурах, то операцію знемагнетовування можна не здійснювати.

Після знемагнетовування виробу обов'язково необхідно перевірити ступінь знемагнетовування його відповідним приладом.

**Магнетоферозондовий метод контролю** – заснований на виявленні магнетних полів розсіюванням ферозондовим перетворювачем, який видає інформацію у вигляді електричного сигналу. Метод дає можливість автоматизувати контроль. Сутність методу полягає в тому, що локальне поле розсіювання магнетного потоку, який протікає виробом, реєструється ферозондовим датчиком. Датчик уявляє собою пермалоєві або феритні осердя довжиною 2...6 мм з двома навитками.



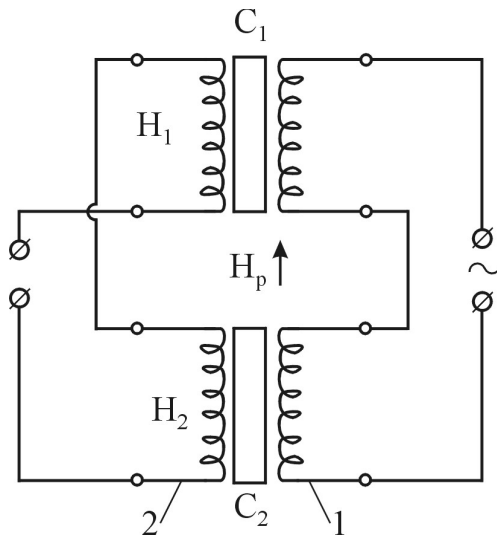


Рис.4.42. Схема магнетного ферозонда: 1 – навитки збудження; 2 – вимірювальні навитки

Вимірювальних навитках буде протікати струм, який фіксується індикатором.

Використовують два типи ферозондів: градієнтовимірювачі і полевимірювачі. Першими визначають градієнт напруженості магнетного поля в різних точках, другими, визначають наявність магнетного поля і його напруженість.

За допомогою ферозондів можна виявити порушення суцільності феромагнетних матеріалів як на їх поверхні, так і на глибині до 15 мм, проконтролювати твердість сталевих деталей, наприклад, після термічного оброблення, і глибину поверхнево-зміцненого шару. Метод використовують і для контролю товщини стінок виливків та листових матеріалів із неферомагнетних сплавів, знемагнетування виробів після магнетного контролю тощо.

Метод передбачає такі технологічні операції:

- підготовки виробу до контролю;
- намагнетовування виробу (здійснюють одним із трьох способів);
- сканування і одержання сигналу від дефекту. Сканування здійснюють переміщенням ферозондового перетворювача поверхнею виробу;
- розбраковування деталей – виконують візуально за максимальним амплітудним значенням сигналу від дефекту або спеціальними пристроями;
- знемагнетовування – піддають тільки придатні до експлуатації вироби.

Навитки збудження 1 (рис.4.42) включені так, що в кожний момент магнетні потоки в двох півзондах напрямлені в один бік. Вимірювальні навитки 2 півзондів спрямовані назустріч, а тому за умови рівних магнетних полів і відсутності магнетної асиметрії півзондів напруга на виході навиток в ідеальному випадку буде дорівнювати нулю.

Таку схему з'єднання навиток двох півзондів називають **градієнтметричною**.

Якщо помістити зонд у зовнішнє магнетне поле, то залежно від його напруженості у

**Магнетографічний метод контролю.** Заснований на запису магнетних полів розсіювання над дефектом на магнетну стрічку намагнетовуванням контрольованого відрізка деталі разом з притисненою до його поверхні магнетною стрічкою і наступним відтворенням і розшифруванням одержаного запису.

Метод використовують, переважно, під час контролю зварових швів з метою виявлення непровару, неметалевих (шлакових) вкраплін та інших дефектів зварених конструкцій, трубопроводів тощо. Для реєстрації магнетних полів розсіювання використовують схему контролю, наведену на рис.4.43.

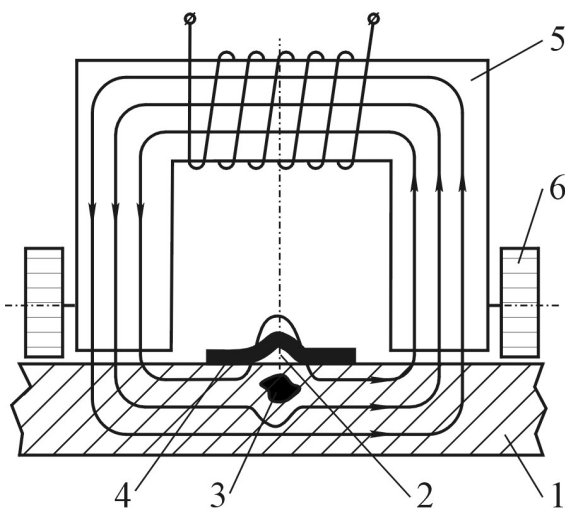


Рис.4.43. Схема магнетографічного методу виявлення дефектів: 1 – виріб; 2 – зварний шов; 3 – дефект; 4 – магнетна стрічка; 5 – електромагнет; 6 – рушій

Під час переміщення стрічки відносно чутливої головки приладу частина магнетного потоку полів розсіювання замикається феромагнетним осердям головки, пронизує навитки обмотки і збуджує в ній електрорушійну силу (ЕРС) електромагнетної індукції. За величиною і формою кривої ЕРС, за якою спостерігають на екрані осцилографа, роблять висновок щодо місцезнаходження і характеру дефекту.

Для запису магнетних полів розсіювання використовують магнетні стрічки двох типів. Перший тип стрічок складається із шару порошку в лакові і немагнетної основи. Ці стрічки є двошаровими. Другий тип стрічок є одношаровим. Це монолітні магнетносії, в які магнетний

Магнетну стрічку 4 знемагнетовують, розміщують з натягом на контрольованому відрізку деталі 1 (зварний шов 2) і притискають гумовим поясом або іншим способом до поверхні. Переміщуючи електромагнет 5 уздовж зварового шва за допомогою рушія 6, намагнетовують відрізок виробу разом з магнетною стрічкою. Якщо є дефект 3, то його магнетне поле створює додаткове місцеве підмагнетовування відповідного відрізка стрічки і реєструється на ній у вигляді місцевої залишкової намагнетованості.

Після зняття стрічки з поверхні виробу її розміщують у стрічкопротяговому механізмі

порошок вводять як наповнювач немагнетної еластичної основи (гуми, поліамідної смоли тощо).

**Устаткування для магнетних методів контролю.** Для магнето-порошкового методу контролю використовують дефектоскопи трьох видів:

- стаціонарні універсальні;
- пересувні і переносні;
- спеціалізовані (стаціонарні, пересувні, переносні).

**Стаціонарні універсальні дефектоскопи** – використовують на підприємствах масового або великосерійного виробництва різноманітних деталей. Такими дефектоскопами (рис.4.44) контролюють деталі різної конфігурації з продуктивністю від десятків до багатьох сотень виробів за годину. Продуктивність методу підвищується після використання люмінесцентного магнетного способу.

За допомогою стаціонарних дефектоскопів можна здійснювати намагнетовування виробів усіма відомими способами (циркулярним, поздовжнім, комбінованим) та контроль у прикладеному полі і на залишковій намагнетованості. Дефектоскопи розрізняються родом магнетувального струму, потужністю і розмірами контрольованих деталей. Довжину деталі визначають можливістю розсування контактних пристроїв; поперечні розміри залежать від потужності дефектоскопу і максимальної сили струму. У першому наближенні можна вважати, що максимальний діаметр контрольованої деталі може бути таким, при якому з максимальною силою струму дефектоскопу на поверхні деталі напруженість магнетного поля досягає 80 А/м.

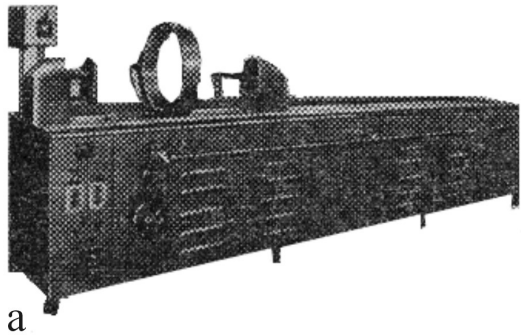
Це не значить, що в окремих випадках не можна контролювати деталі більшого діаметра, наприклад, коли магнетні характеристики матеріалу деталі дають можливість досягти найвищої чутливості контролю з меншою напруженістю намагнетовуваного поля.

**Пересувні і переносні дефектоскопи** – переважно вони уявляють собою джерела змінного, постійного (однопівперіодновипрямленого) і імпульсного струму.

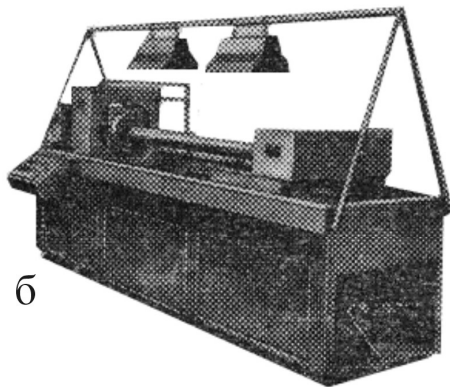
Деякі дефектоскопи можуть працювати з використанням двох видів струму.

Пересувні і переносні універсальні дефектоскопи (рис.4.45) уявляють собою пристрої, призначені для намагнетовування і контролю деталей в умовах, коли неможливо використати стаціонарні дефектоскопи, наприклад, для намагнетовування великогабаритних деталей частинами, у випадках роботи в польових умовах тощо. Такі дефектоскопи забезпечують, комплектом матеріалів, необхідних для контролю (сухі порошки і пристрої для їх напилення, посудини з суспензіями тощо).

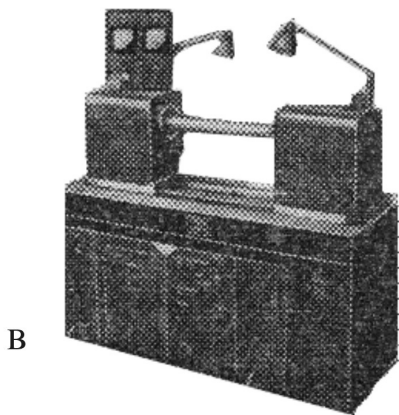
Пересувні і переносні дефектоскопи здатні здійснювати намагнетовування виробів циркулярним способом за допомогою струмових контактів, які розташовують на певному відрізку деталі, поздовжнім – за допомогою кабелю, який навивають на деталь, або з використанням електромагнету.



а

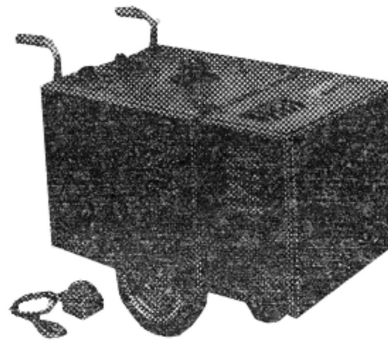


б

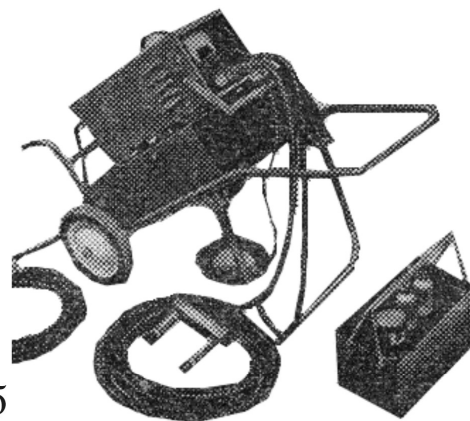


в

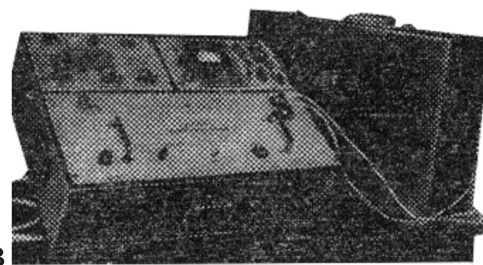
Рис.4.44. Стационарні магнетні дефектоскопи:  
 а – PRA-8;  
 б – UHS 2500;  
 в – УМДЕ-2500



а



б



в

Рис.4.45. Пересувні і переносні магнетні дефектоскопи:  
 а – SWG 2000/4000;  
 б – KH-15;  
 в – ПМД-70

**Спеціалізовані дефектоскопи** використовують для автоматизованих схем контролю. Такі установки (рис.4.46) призначені для контролю деталей одного типу в умовах масового або великосерійного виробництва.

Для прискорення операції нанесення на контрольований виріб магнетного порошку у вигляді суспензії використовують пульверизатор, найбільш проста конструкція якого наведена на рис.4.47.

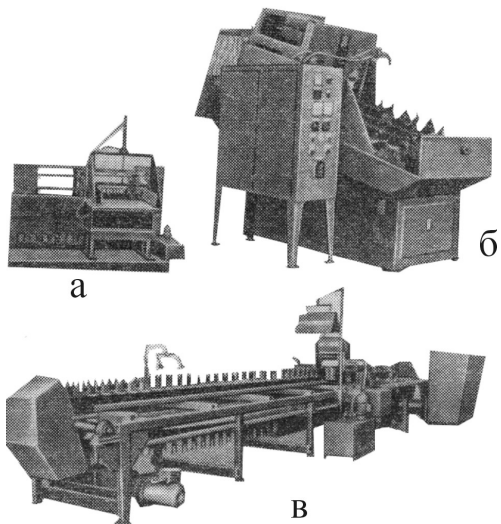


Рис.4.46. Спеціалізовані дефектоскопи для магнетного контролю: а – пружин; б – задніх півосей; в – деталей передньої підвіски легкових автомобілів

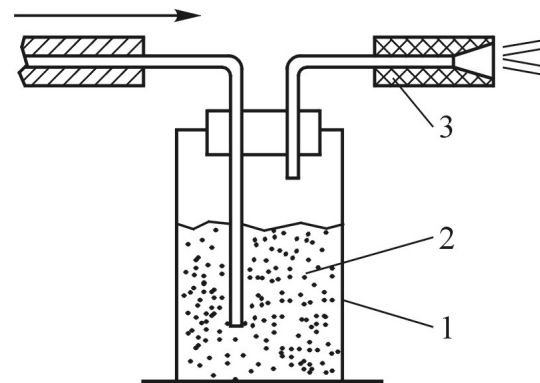


Рис.4.47. Пульверизатор для розпилення магнетного порошку: 1 – посудина; 2 – суспензія; 3 – ебонітовий наконечник

### 4.3.5 Акустичні методи контролю

Акустичний неруйнівний контроль заснований на реєстрації параметрів пружних коливань, збуджуваних або таких, що виникають, у контрольованому об'єкті.

Пружні коливання розділяють на:

- інфразвукові, з частотою коливань до 16 Гц;
- звукові, з діапазоном коливань від 16 до 20000 Гц;
- ультразвукові, з частотою коливань від  $2 \cdot 10^4$  до  $10^9$  Гц.

У практиці неруйнівного контролю найбільшого поширення набули ультразвукові та звукові коливання.

**Ультразвукові методи контролю.** Ультразвукові хвилі, які використовують у дефектоскопії, уявляють собою пружні коливання, що збуджуються в матеріалі виробу, при цьому частинки матеріалу не пе-

реміщуються вздовж напрямку руху хвилі: кожна частинка, здійснивши коливальний рух відносно своєї первісної орієнтації, знову займає вихідне положення, а коливальний рух здійснює наступна частинка.

У гомогенних тілах, особливо в металах, ультразвукові хвилі поширюються як напрямлені промені, а на межі з повітрям практично повністю відбиваються.

Ультразвук має здатність необмежено проникати в глибину виробу і виявляти дефекти будь-яких розмірів і розташування. Поширення високочастотних пружних коливань здійснюється за законами геометричної оптики. Пружна хвиля в напрямку поширення несе певну енергію, яка з віддаленням від випромінювача зменшує свої інтенсивність і амплітуду коливання.

У металах збуджуються хвилі п'яти типів: поперечні, поздовжні, згинові, розтягування і поверхневі. Виникнення хвиль того або іншого типу визначається пружними властивостями об'єкта і його формою.

Якщо частинки здійснюють коливальні рухи, які співпадають з напрямком руху хвилі об'єктом, то такі хвилі є поздовжніми; коли напрямок коливання частинок перпендикулярний, то це поперечні хвилі.

В об'єктах, товщина яких співмірна з довжиною хвилі (листовий матеріал), можуть виникати хвилі згинові.

Хвилі розтягування виникають в об'єктах типу стрижня: часточки коливаються вздовж напрямку поширення хвиль і перпендикулярно йому.

Поверхневі хвилі обумовлені коливаннями частинок із значною амплітудою на поверхні тіла і поступовим її зменшенням з віддаленням частинок від поверхні.

Якщо поздовжня хвиля попадає перпендикулярно на плоску межу розділу двох середовищ, які мають різний акустичний опір, тоді одна частина її енергії переходить у друге середовище, а друга відбивається в першу. Доля відбитої енергії тим більша, чим більша різниця акустичних опорів середовищ.

Якщо поздовжня хвиля попадає на межу розділу двох твердих середовищ під кутом, тоді відбита і та, що пройшла, хвилі заломлюються і трансформуються на поздовжні і поперечні (зсовувані), які поширюються в першому і другому середовищах під різними кутами.

Закони відбивання і заломлення хвиль аналогічні законам геометричної оптики. Отже в металах, які мають пружну анізотропію, завжди можуть спостерігатися:

- **реверберація** – поступове затухання коливань, яке обумовлене багаторазовими повторними відбиваннями від меж зерен;

- **інтерференція** – складання двох або декількох коливань, які діють на одну і ту ж точку простору. Вона суттєво впливає на структуру акустичного поля, особливо біля випромінювача;

- **дифракція** – за наявності перешкод, співмірних (порівнянних) з довжиною хвилі, ультразвук може їх обгинати і утворювати акустичне поле в таких місцях, куди не може проникати прямолінійний промінь.

Властивості пружних хвиль використовують під час конструювання пошукових головок дефектоскопів для контролю виробів.

Як джерело коливань в ультразвукових дефектоскопах використовують лампові або напівпровідникові генератори. Електричні коливання, які вони утворюють, перетворюються в ультразвукові коливання середовища за допомогою перетворювача, заснованого на п'єзоелектричному ефекті.

Основною складовою перетворювача є **п'єзоелемент**, який уявляє собою пластину, виготовлену із монокристала кварцу або із синтетичних п'єзокерамічних матеріалів – титанату барію, цирконат-титанату свинцю тощо. На поверхні цих пластин наносять тонкі шари срібла (електроди) і поляризують їх у постійному електричному полі.

Пластини мають **прямий і обернений п'єзоелектричний ефект**. Якщо таку пластину стискувати або розтягувати в певному напрямку, то на її поверхні виникають електричні заряди, знак яких визначається напрямком деформації, а величина – прикладеною силою, рис.4.48, а.

Якщо до такої пластини підвести електричний заряд або розмістити в змінне електричне поле, то вона буде стискатися або розтягуватися, тобто буде здійснювати вимушені коливання, (рис.4.48, б), оскільки з'являється обернений п'єзоелектричний ефект.

Пластини монтують у спеціальній виносній пошуковій головці (щупі), яку з'єднують з генератором коаксиальним кабелем.

Використовують різні типи пошукових головок для збудження в контрольованому об'єкті, переважно, поздовжніх, поперечних і поверхневих хвиль. За конструктивними ознаками пошукові головки поділяють на **прямі, похилі і роздільно-суміщені**, рис.4.49. Пошукові головки ще називають перетворювачами.

П'єзопластину 1 в контактному прямому перетворювачі приклеюють або притискають з одного боку до демпфера 2, а з другого – до протектора 5 (рис.4.49, а). П'єзопластину, демпфер і протектор, склеєні між собою, називають **резонатором**.

За допомогою контактних виводів 4 п'єзопластину з'єднують з електронним блоком дефектоскопа. Контактне мастило 6 забезпечує передавання пружних коливань ультразвукової частоти перетворювача до контрольованого виробу 7 і навпаки.

Прямі перетворювачі призначені для збудження поздовжніх коливань.

У контактних похилих перетворювачах (рис.4.49, б) для передавання ультразвукових коливань під кутом до поверхні контрольованого виробу використовують призму 8. Ці коливання призначені для збудження, переважно, поверхневих і поперечних (зсовуваних) хвиль.

Резонатор контактних роздільно-суміщених перетворювачів (рис.4.49, в) складається із двох призм 8 з приклеєними до них п'єзоелементами 1, які розділені електроакустичним екраном 9.

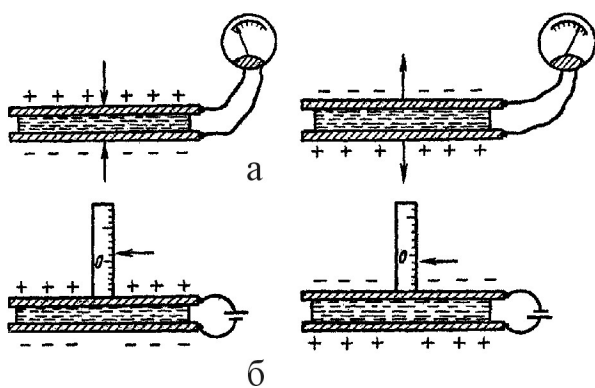


Рис.4.48. Схема роботи п'єзопластини під час випромінювання (а) і прийому ультразвуку (б)

Він слугує для запобігання прямого передавання ультразвуку від передавальної п'єзопластини, яка з'єднана з генератором, до приймальної пластини, яка з'єднана з підсилювачем електронного блока дефектоскопа.

**П'єзопластина** – має товщину, яка дорівнює половині довжини хвилі ультразвуку в п'єзоматеріалі на резонансній частоті.

**Демпфер** – слугує для послаблення вільних коливань п'єзопластини, які поширюються в протилежний від контрольованого об'єкта бік, для управління добротністю перетворювача і захисту п'єзопластини від механічних ушкоджень.

Склад і форма демпфера повинні забезпечувати повне загасання і

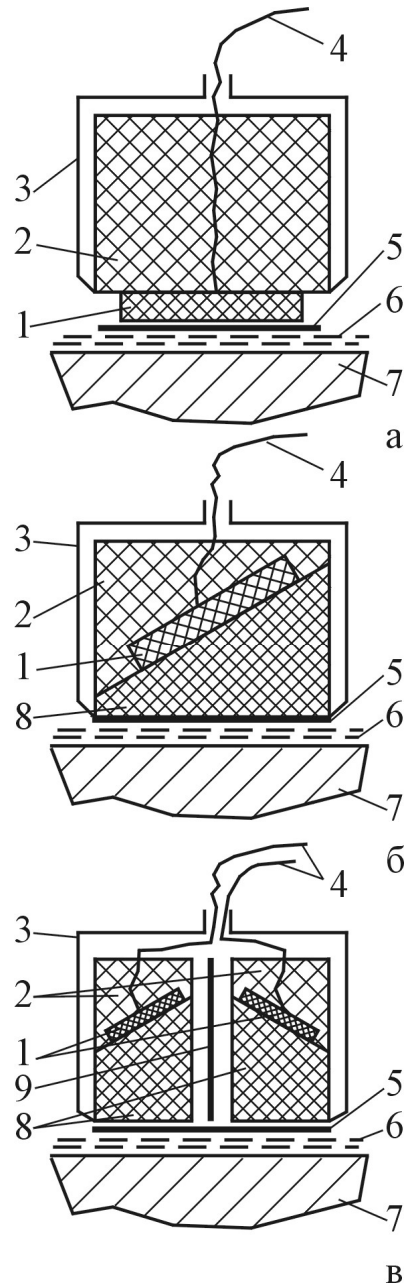


Рис.4.49. Конструкції пошукових головок: а – пряма; б – похила; в – роздільно-суміщена; 1 –



відведення коливань, які випромінюються п'єзопластиною в матеріал демпфера без багаторазових відбивань. п'єзоелемент; 2 – демпфер; 3 – корпус; 4 – контактні виводи; 5 – протектор; 6 – контактне мастило; 7 – виріб; 8 – призма; 9 – електроакустичний екран

Демпфери виготовляють із штучних смол (наприклад, епоксидних) з додаванням порошкових наповнювачів з високою насипною щільністю, необхідною для одержання вимогових характеристик. Для зменшення багаторазових відбивань у матеріал демпфера додають розсіювачі.

**Протектор** – слугує для захисту п'єзопластини від механічних ушкоджень і дії імерсійної або контактної рідини, погодження матеріалу п'єзопластини з матеріалом контрольованого об'єкта або середовища, покращання акустичного контакту під час контролю контактним способом. Матеріал протектора повинен бути зносостійким, здатним пропускати коливання з високою швидкістю, яка визначає необхідну його товщину. Товщина протектора знаходиться в межах 0,1...0,5 мм. Для виготовлення протекторів використовують кварц, сапфір, берилій, сталь, тверді сплави, мінералокераміку, а також матеріали на основі епоксидних смол з порошковими наповнювачами.

**Призму** виготовляють із матеріалу з невеликою швидкістю звуку (оргскло, капрон, полікарбонат, епоксидні компаунди тощо), що дає можливість при відносно невеликих кутах падіння одержувати кути заломлення  $\alpha$  до  $90^\circ$ . Високе згасання ультразвуку в призмі забезпечує послаблення хвилі, яке збільшується внаслідок багаторазових відбивань.

У роздільно-суміщених перетворювачах призма повинна відповідати додатковим вимогам. Наприклад, в товщинометрії важливо, щоб час проходження коливань крізь призму не залежав від температури, тому в цьому випадку призму виготовляють із плавленого кварцу, який має низькі температурні коефіцієнти лінійного розширення і зміни швидкості ультразвуку.

**Корпус** – слугує для забезпечення міцності конструкції, а також для екранування п'єзопластини і її виводів від електромагнетних перешкод, тому корпус, виготовлений із пластмаси, металізують.

**Електричні контакти** – виконують паянням легкоплавкими припоями, особливо на п'єзокерамічних пластинах, для запобігання їх розполяризації. Для з'єднування перетворювача з електронним блоком дефектоскопа використовують максимально гнучкі кабелі (мікрофонний або коаксіальний).

**Контактне мастило** – використовують для позбавлення можливого повітряного зазора між перетворювачем та об'єктом контролю. Наявність зазора значно зменшує чутливість методу.

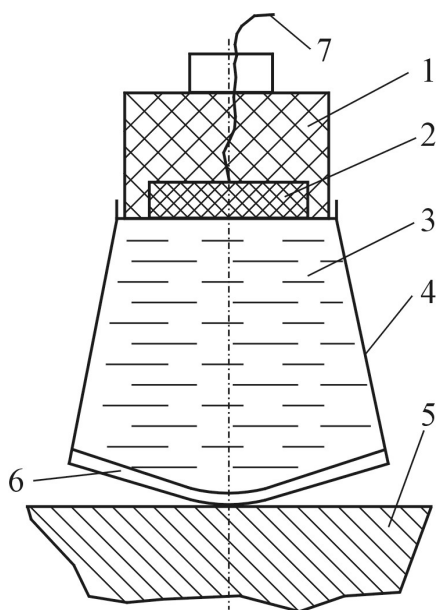
Передавання ультразвукових коливань здійснюють через шар рідини нанесенням її на поверхню об'єкта та перетворювача (контактний спосіб) або зануренням перетворювача у ванну з рідиною (імерсійний спосіб).

До контактної рідини висувають такі вимоги:

- вона повинна добре змочувати поверхню об'єкта та перетворювача;
- повинна бути однорідною і не містити бульбашок;
- не повинна швидко стікати з поверхні об'єкта або перетворювача;
- повинна бути нетоксичною та не сприяти здійсненню корозії.

Таким вимогам відповідають мінеральні мастила, гліцерин (використовують для контактного способу) та вода – для імерсійного способу.

Для контролю виробів із грубою поверхнею (наприклад, виливків) використовують перетворювачі, які мають підвищену стабільність акустичного контакту з виробом. Це досягається використанням локальної імерсійної ванни з дном у вигляді еластичної мембрани, яка щільно прилягає до поверхні виробу і створює надійний акустичний контакт, рис.4.50.



Для неруйнівного контролю виробів використовують декілька методів ультразвукового „прозвучування” контрольованих об'єктів і одержання необхідної інформації: **тіньовий, резонансний та імпульсний метод відлуння.**

Рис.4.50. Перетворювач з локальною імерсійною ванною: 1 – демпфер; 2 – п'єзопластина; 3 – імерсійна рідина; 4 – корпус; 5 – об'єкт контролю; 6 – еластична мембрана; 7 – контактні виводи

**Тіньовий метод** (метод наскрізного „прозвучування”) – заснований на реєстрації послабленого через наявність дефектів звуку, який

пройшов через контрольований об'єкт і створив ультразвукову „тінь” у місці розташування дефекту, рис.4.51.

Якщо в об'єкті дефекти відсутні, то ультразвукова хвиля рухається прямолінійно до досягнення протилежного боку виробу.

З появою на шляху руху ультразвуку дефекту сигнал послаблюється і тим більше, чим більший дефект.

Залежно від місця розташування дефекту показання індикатора змінюється, оскільки дефект відбиває частину хвиль і вони не попадають до приймача сигналів.

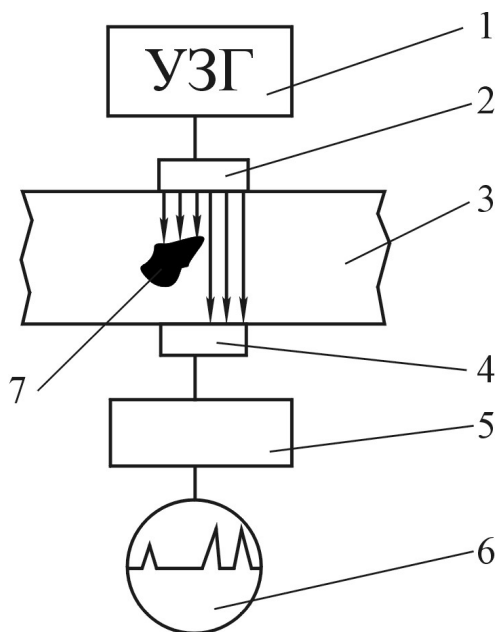


Рис.4.51. Схема тіньового методу контролю: 1 – ультразвуковий генератор; 2 – випромінювач коливач; 3 – об'єкт контролю; 4 – приймач сигналів; 5 – підсилювач; 6 – індикатор; 7 – дефект

до контрольованого об'єкта з двох боків.

**Резонансний метод** – заснований на реєстрації параметрів резонансних коливачь, які збуджуються в контрольованому об'єкті. Коливання високої частоти, вироблювані генератором, безперервно випромінюються ультразвуковим перетворювачем у контрольований виріб. Будь-які тіло, предмет, деталь мають свою власну частоту. Тонкі деталі мають високу резонансну частоту, великі предмети – низьку (наприклад, великий церковний дзвін і маленький дзвоник звучать по-різному).

Імпульс на екрані приладу в цьому випадку зменшується або зникає, утворюється акустична „тінь” (див.рис.4.51). Метод використовують, переважно, для контролю якості листового прокату, підшипників ковзання, багат шарових дисків, клеєних з'єднань тощо. Тіньові дефектоскопи малочутливі: з їх допомогою можна виявити дефект, який змінює сигнал не менше, ніж на 15...20%, у протилежному випадку дефект залишається „непоміченим” ультразвуковим сигналом.

Недоліком тіньового методу можна вважати неможливість визначити глибину знаходження дефекту в тілі виробу.

Під час використання тіньового методу необхідний доступ

Якщо власна частота виробу буде рівною частоті генератора, то виникає резонанс коливань. Знаючи частоту випромінювача ультразвукових коливань і швидкість їх поширення в матеріалі контрольованого виробу, можна визначити розміри дефекту та глибину його розташування.

Резонансний метод контролю заснований на збудженні в об'єкті так званих стоячих (нерухомих) хвиль, які виникають за умови інтерференції увідних в об'єкт пружних коливань і коливань, відбитих від розділу об'єкт - повітря (або інше середовище). Така ситуація можлива за умови одержання резонансу внаслідок співпадання власної частоти об'єкта і частоти збуджуваних у ньому пружних коливань. При цьому завдяки різкому зниженню вхідного опору навантаги і відповідно зміні характеристик блока генератора можна за імпульсами на екрані осцилоскопа реєструвати момент досягнення резонансу.

Схема резонансного дефектоскопа наведена на рис.4.52. Для роботи дефектоскоп настраюють на резонансну частоту виробу за допомогою змінного конденсатора.

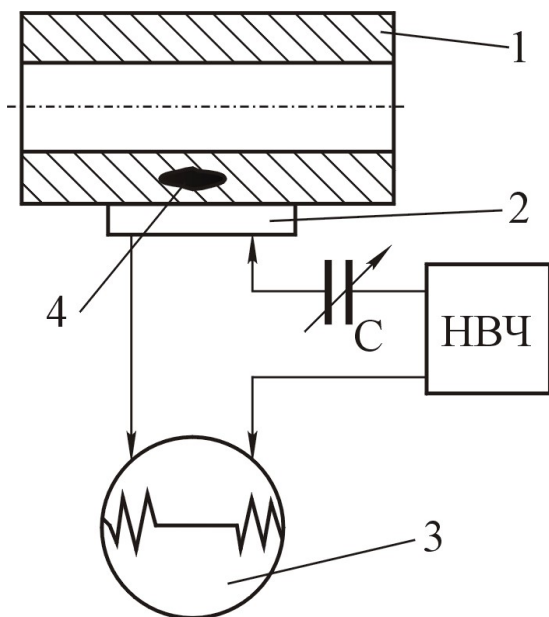


Рис.4.52. Схема резонансного дефектоскопа: 1 – виріб; 2 – роздільно-суміщений перетворювач; 3 – індикатор; 4 – дефект

в тій же фазі, в якій здійснюється випромінювання прямого пучка.

Резонансний метод ультразвукової дефектоскопії виправдовує себе не тільки на виробництві, але і під час вирішення багатьох теоретичних проблем. Його можна використовувати для визначення характеристик твердого тіла в умовах високих температур. Це дає можливість вибрати найбільш раціональний технологічний режим, наприклад, для

Якщо ультразвуковий перетворювач переміщувати по поверхні виробу, то в усіх місцях з іншою товщиною або дефектом резонансу не буде.

При резонансному методі зміною частоти генератора дефектоскопа підбирають таку довжину хвилі ультразвукових коливань, при якій у товщі досліджуваного матеріалу утворюються стоячі хвилі. У цьому випадку здійснюється максимальне відбивання ультразвуку від поверхні виробу, до якого прикладений перетворювач. Такий момент настає тоді, коли відбиті ультразвукові коливання повертаються до перетворювача

відпалу будівельних матеріалів. Метод використовують для виявлення несучільностей у біметалах, розшаровувань у багат шарових конструкціях, зон міжкristалевої корозії, для контролю литих труб тощо.

**Імпульсний метод відлуння** – заснований на посиленні в контрольований виріб коротких імпульсів та реєстрації інтенсивності і часу повернення сигналів, відбитих від дефектів або меж виробу. Імпульс, посланий випромінювачем, проникає крізь виріб і відбивається від протилежної поверхні. Якщо імпульс на своєму шляху зустрічає дефект (тріщину, раковину, неметалеvu вкрапину тощо), то він відбивається від них, повертається і реєструється на екрані дефектоскопа у вигляді сплеску імпульсу.

Метод має декілька переваг, наприклад, у порівнянні з тіншовим:

- можливість контролю якості виробу при доступі до нього тільки з одного боку, оскільки не потрібно встановлювати приймач з протилежного боку контрольованої ділянки;

- чутливість методу значно вища. Під час використання тіншового методу послаблення ультразвуку лише на 5% уже практично не реєструється, в той же час імпульсний метод дає можливість реєструвати відбивання лише одного відсотка ультразвукової енергії;

- метод дає можливість не тільки з підвищеною чутливістю виявити найдрібніші дефекти, але і визначити, на якій глибині вони знаходяться. За інтенсивністю відбитого сигналу можна скласти уявлення щодо розмірів дефекту.

Проте імпульсний метод відлучання практично не придатний для контролю виробів малих розмірів. Це можна пояснити тим, що в імпульсних дефектоскопах має місце так звана „мертва зона” – ділянка безпосередньо біля поверхні виробу. На цьому місці виявити дефект неможливо, оскільки в момент повернення сигналу від дефекту ще продовжується випромінювання прямого імпульсу. „Мертва зона” дефектоскопа буде тим меншою, чим менша тривалість імпульсу. Тривалість імпульсу визначає і роздільну здатність дефектоскопа, тобто мінімальну відстань між дефектами, при якій сигнали від цих дефектів будуть спостерігатися на електронно-променевій трубці роздільно.

Схема імпульсного ультразвукового дефектоскопа наведена на рис.4.53.

Дефектоскоп, побудований за цією схемою, працює таким чином: від імпульсного ультразвукового генератора 2 на випромінювач 5 подається короткочасний імпульс змінної напруги (тривалістю 3...5 мікросекунд). Під дією імпульсу у випромінювачі збуджується коливання, які у вигляді вузького пучка 7 передаються в досліджуваний виріб 1. Одночасно з подачею змінної напруги на випромінювач 5 такий же імпульс подається в підсилювач 4, де за допомогою спеці-аль-

ного пристрою у вигляді електронного променя передається в електронно-променевої трубки 3 і швидко переміщується по горизонталі зліва направо. Цей промінь прокреслює світлу лінію на екрані трубки 3 (так, як це здійснюється на екранах телевізорів), на якій з'являється світлий сплеск **а**. Його називають початковим імпульсом.

За відсутності дефектів у контрольованому виробі ультразвуковий пучок 7 проходить до протилежної поверхні, відбивається від неї і, дійшовши до першої (нижньої на рисунку) поверхні, попадає на приймальну частину випромінювача 5 і заставляє її коливатися.

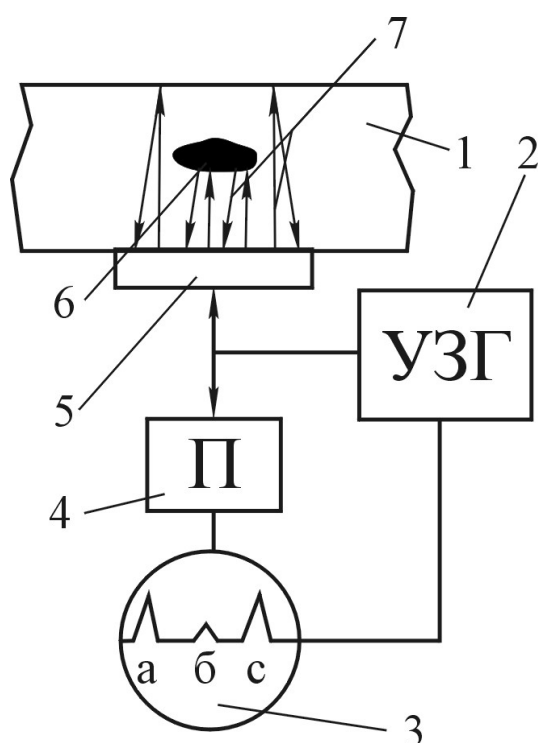


Рис.4.53. Схема імпульсного ультразвукового дефектоскопа: 1 – виріб; 2 – ультразвуковий генератор; 3 – електронно-променевої трубка; 4 – підсилювач; 5 – випромінювач – приймач; 6 – дефект; 7 – пучок ультразвуку

гання дефекту, а положення випромінювача – приймача 5 на поверхні виробу покаже розташування дефекту по горизонталі.

Імпульсні ультразвукові дефектоскопи живляться змінним струмом через стабілізатор.

Дефектоскопи можуть працювати як з двома, так і з одним щупом. В останньому випадку щуп слугує і випромінювачем, і приймачем (як це описано вище). Така схема можлива тому, що приймання відбитого сигналу здійснюється під час пауз між імпульсами, ніяких інших

Різниця потенціалів, яка виникла на приймальній частині випромінювача, підсилюється і передається на електронно-променевої трубку 3. Внаслідок цього в правій частині її екрана з'являється сплеск **с**, який називають донним імпульсом (відбитий ніби від дна виробу).

Якщо всередині досліджуваного виробу є дефект **б**, то ультразвук дійде до нього раніше, ніж до протилежної поверхні, частково відіб'ється від межі дефекту і попаде на приймальну пластину раніше. Внаслідок цього на екрані трубки 3 між початковим імпульсом **а** і донним імпульсом **с** виникає імпульс **б**, який є свідченням того, що контрольований об'єкт у цьому місці має дефект. За відстанню між імпульсами, відбитими на екрані трубки, можна визначити глибину залягання дефекту, а положення випромінювача – приймача 5 на поверхні виробу покаже розташування дефекту по горизонталі.

сигналів, крім відбитих, у цей час на п'єзоелектричну пластину не поступає.

Для більш точного визначення глибини залягання дефектів за допомогою імпульсних дефектоскопів розроблені пристрої, які входять у комплект дефектоскопа.

В імпульсних ультразвукових дефектоскопах використовують призматичні щупи, за допомогою яких можна вводити в контрольований виріб ультразвуковий пучок під деяким кутом до поверхні. Це дає можливість виявити дефекти, які розташовані перпендикулярно до поверхні і які неможливо виявити за допомогою прямого щупа.

**Методика ультразвукового контролю.** Від правильного вибору методики контролю залежить його надійність, тому розробленню методики ультразвукового контролю передують вивчення контрольованого виробу, матеріалу, із якого він виготовлений, та дефектів, що підлягають виявленню. Необхідно також проаналізувати форму, розміри, технологію виготовлення, наявність припусків на механічне оброблення, умови експлуатації виробу. До характеристик матеріалу, який піддають аналізу, відносять: макроструктуру, термічне оброблення, деформації, щільність і акустичні характеристики (швидкість поширення ультразвукових коливань, питомий хвильовий опір, коефіцієнти розсіювання та згасання). Під час вивчення дефекту визначають: тип, розміри і орієнтацію відносно поверхні виробу і розтягувальні напруження, які діють під час експлуатації виробу.

При розробленні методики необхідно правильно вибирати такі параметри:

– **частоту і потужність ультразвукових коливань** – перше вибирають експериментально прозвучуванням контрольованого матеріалу. При цьому одержують чіткий сигнал, відбитий від контрольованого відбивача, який розташовують на максимальній відстані від випромінювача при оптимальному співвідношенні коефіцієнта підсилення і величини відсічних шумів. Частота УЗК визначається габаритними розмірами виробу, коефіцієнтом згасання тощо.

Потужність імпульсів, які вводять у контрольований виріб для виявлення дефекту заданого розміру на максимальній глибині, залежить від частоти УЗК, коефіцієнта згасання і габаритних розмірів виробу;

– **вид ультразвукових коливань** – вибір виду ультразвукових хвиль залежить від характеру і місця розташування дефектів, габаритних розмірів і конфігурації виробу. Наприклад, для контролю великогабаритних виробів і виявлення дефектів, які глибоко залягають (раковини, розшарування, поруватість тощо) і які орієнтовані в площинах, паралельних поверхні введення УЗК, використовують **поздовжні**

**хвилі**, які вводять прямою головкою. Під час виявлення у виробках дефектів, які орієнтовані в металі під кутом до поверхні введення УЗК, а також під час контролю зварових з'єднань використовують **зсовувані УЗК**, які збуджуються в металі внаслідок трансформації випромінюваних п'єзоелементом поздовжніх хвиль під час переходу їх із призми пошукової головки в контрольований виріб. Зсовувані УЗК збуджуються у виробках призматичними пошуковими головками з плоскою або фігурною контактною поверхнею.

Контактна поверхня, виконана у вигляді півкруга, дає можливість фіксувати на трубі передавач – приймач, який переміщуючись уздовж її твірної, усталює і напрямок ультразвукового променя, і комбінацію хвиль у стінці трубки.

**Поверхневі хвилі** використовують у тих випадках, коли виявленню піддають дефекти, які виникають на поверхнях виробів у процесі їх виробництва або експлуатації. Поверхневі хвилі одержують трансформацією поздовжніх УЗК, які подають на поверхню під кутом.

**Нормальні (поперечні) хвилі** використовують для виявлення розшаровувань, зон поруватості, поверхневих тріщин і інших дефектів у тонких листах, трубах, оболонках тощо. Для збудження нормальних хвиль використовують, переважно, поздовжні коливання, що подають на поверхню під деяким кутом, який визначають експериментально на конкретних виробках з конкретними дефектами.

Чітке уявлення щодо характеру хвиль, які виникають і поширюються у виробках при різних умовах введення УЗК, необхідне для грамотного розшифрування осцилограми контролю і точного визначення розташування дефектів;

– **напрямок прозвучування** – для контролю, який давав би достовірні результати, необхідно точно визначити напрямок прозвучування і ділянки введення УЗК, тобто місця установлення і напрямок переміщення передавача – приймача, при цьому визначаючи, які сигнали можуть бути видимі на екрані при різних положеннях передавача – приймача.

Особливої уваги необхідно надавати вибору напрямку прозвучування для контролю виробів з криволінійними поверхнями за допомогою поверхневих і поперечних хвиль. У цих випадках на екрані дефектоскопа з'являються імпульси, які відповідають відбитим УЗК від ділянок, що знаходяться „збоку” від напрямку прозвучування. Отже задача полягає в знаходженні траєкторії поширення УЗК;

– **еталонування чутливості ультразвукового контролю** – під чутливістю ультразвукового методу розуміють мінімальну площу відбивача, розташованого в контрольному зразку на певній відстані від точки введення пружних хвиль у площині, перпендикулярній до напрямку прозвучування, що реєструється індикатором дефектоскопа.



Чутливість методу залежить від властивостей контрольованого матеріалу, акустичного контакту виробу з пошуковою голівкою, від акустичних і інших характеристик самого приладу.

Для одержання достовірних і відтворюваних даних за результатами контролю, особливо в умовах серійного, великосерійного та масового виробництва, необхідно створювати стандартні умови. Для цього, перш за все, необхідно забезпечити настройку дефектоскопа за контрольними зразками і здійснювати періодичне перевіряння настройки в процесі контролю.

Дефектоскоп повинен бути настроєним на певну чутливість, яка дозволила б виявити недопустимі за технічними умовами дефекти. Контрольні зразки, за якими здійснюють настройку приладу, мають різні контрольні відбивачі, що імітують природні дефекти. Контрольні зразки виготовляють із металу і органічного скла у вигляді брусків, секторів, циліндрів з відбивачами, рис.4.54.

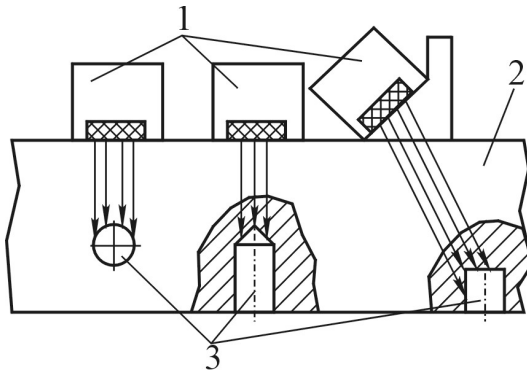


Рис.4.54. Контрольний зразок для настроювання ультразвукового дефектоскопа: 1 – пошукові голівки; 2 – контрольний відбивач; 3 – штучні дефекти

важно, поглинанням коливань.

Розсіювання хвиль мають велике значення за умови, коли їх довжини приблизно дорівнюють величині зерна.

Максимального значення розсіювання досягає при  $\lambda = (2...4)D$ . Отже дефектоскопію таких металів необхідно здійснювати при використанні довжин хвиль  $\lambda \geq (10...15)D$ .

На практиці для ультразвукового контролю виробів із різних сплавів використовують, переважно, поздовжні акустичні хвилі, робочі параметри, яких наведені в табл.4.7, а акустичні характеристики деяких матеріалів – у табл.4.8.

**Ультразвуковий контроль заготовок, напівфабрикатів і виробів в умовах виробництва.** Під час ультразвукового контролю литва необхідно розрізняти два випадки: контроль злитків, які піддають

Такі відбивачі добре імітують внутрішні дефекти типу раковин, розшаровувань тощо, при-чому чутливість оцінюють за сигналом, відбитим від мінімального за розмірами відбивача.

Під час контролю литих деталей важливу роль відіграють співвідношення довжини хвилі УЗК та середньої величини зерна. За умови, коли довжина хвилі значно менша зерна ( $\lambda \ll D$ ) затухання визначається, пере-

обробленню тиском, і контроль фасонного литва. Злитки із різних металів і сплавів призначені для виготовлення напівфабрикатів і виробів і характеризуються відносно великими розмірами, простою геометрією (циліндр або прямокутний брус), нерівною поверхнею і крупнозерниною структурою.

Як уже відзначалось, крупне зерно в металах з високим рівнем пружної анізотропії призводить до інтенсивного затухання УЗК через розсіювання їх зернами металу і появу структурної реверберації. Тому контроль таких злитків необхідно здійснювати з використанням зниженої частоти – 0,25...1,00 МГц. Необхідно також враховувати, що у цьому випадку знижується чутливість контролю, хоча дефекти (раковини, великі пори, зони дірчастості, гарячі тріщини тощо) мають достатньо великі розміри і добре відбивають хвилі, які падають на них з будь-якого напрямку.

Можливості ультразвукового контролю злитків наведені в табл.4.7. Контроль заготовок у цьому випадку здійснюють імпульсним методом відлуння за допомогою суміщеної прямої пошукової головки і з використанням поздовжніх хвиль (введення УЗК через плоску поверхню злитка) і комбінації поздовжніх і зсовуваних хвиль (введення УЗК через криву поверхню).

Таблиця 4.7. Робочі параметри поздовжніх хвиль

Інд. поз.	Матеріал злитка	Частота коливань, МГц	Глибина проникнення акустичних хвиль, мм
1	Сталь вуглецева	0,25...0,50	до 1000
2	Сталь легована	0,25...0,50	300...400
3	Алюмінієві сплави	1,00...1,50 2,50	1000...1200 400...500
4	Магнієві сплави	1,80 2,50	до 600 до 400
5	Титанові сплави	1,00...1,50	1000...1200

Таблиця 4.8. Акустичні характеристики деяких матеріалів

Інд. поз.	Матеріал	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Швидкість поширення акустичних хвиль, м/с			Акустичний опір, 10 <sup>6</sup> Па·с/м
			поздовжніх	зсовуваних	поверхневих	
1	Алюміній	2760	6260	3080	2800	16,9
2	Магній	1740	5700	3050	2870	10,1
3	Титан	4500	6000	3500	3200	27,0
4	Сталь	8030	5660	3120	3100	45,5
5	Органічне скло	1180	2650	1130	1050	3,1

6	Трансформаторна олива	910	1400	–	–	1,3
---	-----------------------	-----	------	---	---	-----

Уведення УЗК у злиток здійснюють контактним або імерсійним способом. Плоскі злитки доцільно прозвучувати скануванням рядами в напрямку товщини злитка, а циліндричні – з торця.

Ультразвуковий контроль фасонного литва дещо обмежений. Це можна пояснити утрудненнями контролю, які обумовлюються складною формою виливка, значною шорсткістю його поверхні, крупнозерниною структурою, різною величиною зерна в товстих і тонких перерізах тощо. Проте після ретельного відпрацювання методики контролю він стає досить ефективним. Найкращі результати щодо їх достовірності одержують після використання імпульсного методу відлуння, наприклад, за допомогою УЗК з частотою 0,5...1,0 МГц виявляють раковини в чавунних виливках товщиною стінок до 100...150 мм, а використанням комбінованих (поздовжніх і зсуюваних) хвиль контролюють сталеве литво, труби, виготовлені відцентровим литтям тощо. Кращим варіантом контролю литих деталей (виливків) є використання послідовно ультразвукового (а після виявлення дефектів) і радіаційного методів.

На жаль, для контролю виливків не існує універсального методу. У кожному конкретному випадку метод контролю вибирають на підставі експериментальних випробувань. Інколи для контролю якості виливків особливо відповідального призначення використовують декілька методів контролю.

**Апаратура для акустичного контролю.** Основними характеристиками акустичних приладів є чутливість, максимальна дальність прозвучування, спосіб індикації (перетворення електричних імпульсів у видимі зображення або чутні сигнали), система селекції сигналів (відокремлення сигналу дефекту від інших сигналів), величина „мертвої” зони і роздільна здатність.

Універсальні дефектоскопи призначені для виявлення і визначення координат дефектів, розташованих на глибині до 2500 мм у круглих виробках нескладної форми, і для контролю товщини прокату. Деякі дефектоскопи забезпечують приставками – імітаторами дефектів (УМД-1М, ДУК-66, УДМ-3).

Спеціалізовані дефектоскопи слугують для виявлення дефектів у з'єднаннях (паяних, клеєних, зварових), в окремих елементах важконавантажуваних машин в умовах експлуатації (лопатки турбін, колеса літаків тощо).

До цієї групи відносять ультразвукові товщиноміри, які вимірюють товщини стінок балонів високого тиску, листів, котельних труб тощо (ДУК-8М, УЗДЛ-61-2М, УЗДК-1, ИАД-3).

Для контролю труб під час їх виробництва і експлуатації використовують дефектоскопи ИЦД-6, „Днепр”, УТД-5, УТД-6, „Спираль” тощо.

Загальний вигляд деяких ультразвукових дефектоскопів наведено на рис.4.55, 4.56, 4.57.

Дефектоскоп УД-11ПУ використовують для контролю зварових швів; дефектоскоп УДЦ-105М здійснює автоматичне вимірювання амплітуди сигналу і запам'ятовує величини на будь-який час; дефектоскоп Д2-12 використовують для вимірювання товщин стінок виробів та виявлення дефектів у виливках.

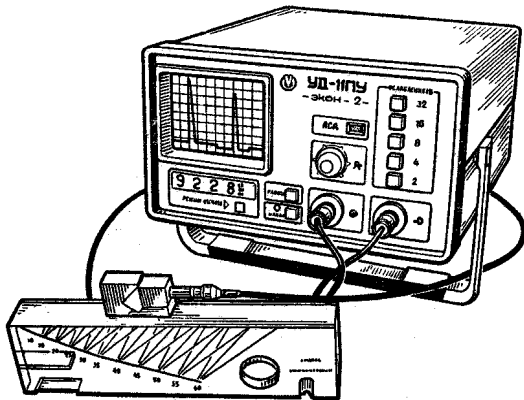


Рис.4.55. Ультразвуковий дефектоскоп УД-11ПУ для контролю зварових швів

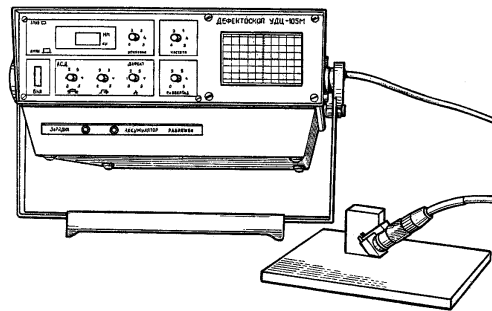


Рис.4.56. Ультразвуковий дефектоскоп УДЦ-105М



Рис.4.57. Ультразвуковий дефектоскоп УД2-12

#### 4.3.6 Контроль течешуканням

Контроль течешуканням заснований на реєстрації індикаторних рідин або газів, що проникають через наскрізні дефекти контрольованого виробу.

Контроль течешуканням використовують для:

- виявлення тріщин і несучільностей у неферромагнетних матеріалах;
- випробовування на витікання газів або рідин через зварові шви або інші поверхні закритих посудин, труб, балонів тощо, які працюють під тиском;

- випробовування великогабаритних керамічних виробів, ізоляторів і різних резервуарів ;
- виявлення дефектів у трубопроводах для транспортування природних газів під тиском та випробовування магістральних трубопроводів різного призначення;
- випробовування газових балонів, ресиверів, пневмо- і гідроциліндрів, холодильників, вакуумних систем тощо;
- випробовування відповідальних конструкцій атомних елек-тростанцій, космічних апаратів та військової техніки.

Контроль якості виробів течешуканням здійснюють з використанням газів і рідин. Найбільш поширені методи контролю наведені на рис.4.58.

У гідростатичних випробовуваннях виробів на герметичність використовують рідини – воду або оливу – під тиском, який створюють гідравлічними насосами або водопроводом.

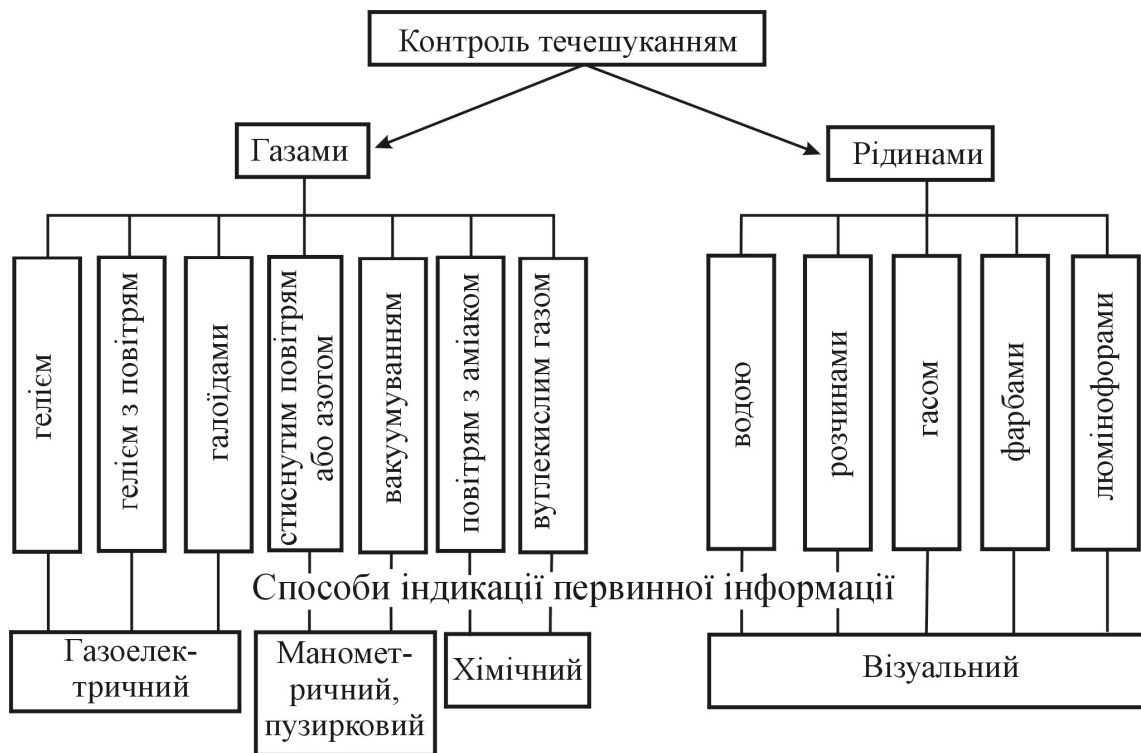


Рис.4.58. Методи контролю течешуканням

Основною експлуатаційною вимогою, яку пред'являють до виробів замкнутого типу (посудини, балони, трубопроводи тощо) є їх герметичність.

**Герметичність** – це властивість виробу обмежувати проникнення рідин або газів через елементи конструкцій або їх з'єднання.

Ступінь герметичності вимірюють витіканням газу або рідини за одиницю часу.

Зрозуміло, що кращим варіантом, особливо для виробів відповідального призначення, була б їх абсолютна герметичність, але вона недосяжна і не піддається контролю.

Сучасна техніка течешукання – це галузь науки і техніки, яка забезпечує створення і використання комплексу апаратури і методів контролю герметизації різноманітних систем і виробів.

Взагалі порушення герметичності визначають наявністю в оболонці наскрізних капілярних каналів (течей) або проникністю основного матеріалу з непорушеною структурою.

Проникність, як властивість матеріалу, необхідно враховувати і вилучати під час вибирання матеріалу в процесі конструювання виробу.

Проникність має вибіркового характеру і проявляє себе тільки по відношенню до певних проникливих речовин, у той час як через канали течей можуть протікати всі проникливі речовини.

За наявністю течей виявляється прямий зв'язок між складом газового середовища по обидва боки оболонки, а під час подачі рідини на одну поверхню оболонки виявляють її наявність на протилежній поверхні.

Це дає можливість базувати методи течешукання на використанні різних робочих речовин (див. рис.4.58), які фіксують після проникнення їх через течі.

**Теча** – це канали або порувата ділянка виробу (його окремих елементів), які порушують його герметичність.

Мікротечі практично не можна виявити ні візуально, ні іншими методами дефектоскопії окрім методів проникливих речовин.

Малі розміри перерізів і неоднорідність їх по довжині, хвилястість каналів тощо не дають можливості характеризувати течі геометричними розмірами. Тому розміри течей визначають потоками проникливих через них речовин.

За величинами потоків визначають поріг чутливості течешукальної апаратури і методів, а також діапазони течей, які можна виявити вибраним методом.

Оскільки кількість речовини, яка проникає через течу, залежить від властивостей цієї речовини, температури і перепаду тисків у каналі течі, то для однозначності використовують пропускання через течу повітря із атмосфери у вакуум при температурі 18°C.

Вимоги до порога чутливості випробовувань виробів устанавлюють виходячи із вимог щодо герметичності останніх.

**Герметичними** називають такі конструкції, протікання через які прониклих речовин достатньо мале для того, щоб його впливом можна було б знехтувати в умовах експлуатації і зберігання.

Очевидно, що вимоги щодо герметичності повинні формулюватися кількісно, виходячи із вимогових характеристик виробів.

Малі розміри перерізів каналів течей обумовлюють значну вірогідність їх закупорювання, яке перешкоджає проходженню прониклих речовин і виявленню течей під час випробовувань. Закупорювання каналів може здійснюватися механічним обробленням поверхні виробу, попаданням у канали порошків чужорідних матеріалів, дією оливи і мастил, кислот і лугів, води і інших речовин. Велика вірогідність закупорювання течей вологою повітря.

Не виявлені під час випробовувань закупорені течі можуть відкриватися в неконтрольований момент часу, тому особливого значення набувають правильний вибір методу випробовувань і підготовки до них виробів.

Якщо герметизація здійснюється для зберігання речовин, яка заповнює виріб, підтримування незмінним її тиску або складу, то гранично припустимі потоки речовин, які перетікають через течі, визначають за формулами:

$$Q_{\text{пр}} \leq \frac{q_{\text{пр}}}{t} \quad \text{або} \quad Q_{\text{пр}} = \frac{\Delta P \cdot V}{\gamma \cdot t}, \quad (4.22)$$

де  $q_{\text{пр}}$  – гранично припустима кількість утратної речовини;

$t$  – заданий час зберігання речовини;

$\Delta P$  – припустима зміна тиску критичного компонента газового середовища;

$V$  – об'єм ізольованої порожнини;

$\gamma$  – концентрація критичного компонента в суміші, яка перетікає (для визначальної ролі загального газового потоку  $\gamma = 1$ ).

Залежно від способу індикації первинної інформації для контролю якості виробів особливо відповідального призначення використовують методи течешукання, які наведені в табл.4.9.

### **Основні методи контролю течешуканням:**

- **течешукання гелієм** – використовують для контролю особливо відповідальних виробів для атомної енергетики, космічної і військової техніки.

За допомогою гелію можна виявити дуже малі течі, які не можна виявити іншими методами.

Вибір гелію обумовлений тим, що в порівнянні з іншими газами молекула гелію має найменший розмір – 0,19 нм.

За ступенем локальності методи контролю гелієм поділяють на дві групи:

- 1) методи локального контролю;
- 2) методи контролю сумарної негерметичності.

**Локальний метод щупа** – замкнений виріб заповнюють гелієм до тиску, що перевищує атмосферний. За допомогою спеціального щупа контролюють зовнішню поверхню виробу. Щуп має форму пістолета і слугує для приймання гелію, що проник через оболонку виробу, і передавання його до мас-спектрометра (рис.4.59, а).

**Локальний метод вакуумування з обдуванням поверхні виробу гелієм** – із замкненого виробу відсмоктують вакуумним насосом повітря, створюють вакуум до  $0,1 \dots 0,0001$  мм.рт.ст. ( $13,3 \dots 0,0133$  Па), а потім обдувають поверхню виробу струменем гелію, використовуючи, як і в попередньому випадку, спеціальний щуп, (рис.4.59, б). Швидкість переміщення щупа складає близько 0,3 м за хвилину.

Таблиця 4.9. Класифікація основних методів контролю герметичності і способів їх реалізації

Інд. поз.	Метод	Принципальні основи методу	Способи здійснення випробувань	Галузі використання	Гранично допустимий поріг чутливості до потоку, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$
1	2	3	4	5	6
1	Мас-спектрометричний	Виокремлення і реєстрація прониклої течії пробної речовини через розподіл іонів різних газів по відношенню їх маси до заряду	Випробування під відкачуванням з подаванням пробної речовини на протилежну поверхню виробу: – обдуванням; – методом гелієвих чохлів і камер;	Випробування вакуумних систем і всіх відкачуваних виробів; випробування газонаповнених виробів, які розташовують у вакуумованих камерах	$10^{-11}$
				Пошук місць течей. Визначення загальної і локальної герметичності, виявлення негерметичних ділянок вакуумованого виробу	$10^{-12}$



			– методом вакуумних камер	Визначення сумарної герметичності газонаповнених виробів	$10^{-11}$
			Накопиченням пробної речовини у вакуумі	Контроль герметичності малогабаритних вакуумованих виробів	$10^{-15}$
				Контроль герметичності малогабаритних газонаповнених виробів, які розташовують у вакуумній камері	$10^{-13}$

Продовження табл.4.9

1	2	3	4	5	6
1			З використанням вакуумних присосів з накопиченням в чохлах пробного газу	Визначення негерметичної ділянки в оболонках газонаповнених виробів	$10^{-10}$
				Випробовування виробів, які знаходяться під збитковим тиском – визначення загальної і локальної герметичності	$10^{-12}$
			Щупом	Визначення місць течей у виробих із збитковим тиском	$10^{-10}$
2	Галогенний	Реєстрація проникнення пробної речовини через течі за збільшенням емісії позитивних іонів з нагрітої металеві поверхні під час попадання на неї галогенів	Щупом	Випробування виробів, які опресовані усередині галогеновмістною речовиною	$10^{-7}$
			Обдуванням	Випробовування вакуумних систем	$10^{-9}$
3	Манометричний	Реєстрація зміни повного тиску Р	Камерний	Перевіряння герметичності виробів, які знаходяться під збитковим тиском	$10^{-6}$

		у системі випробування внаслідок перетікання прониклих речовин через течі	Безкамерний	Попередня оцінка герметичності перед контролем високочутливими течешукачами	
4	Вакууметричний	Реєстрація зміни тиску Р або складу газового середовища у вакуумованій порожнині внаслідок натікання	Обдуванням	Випробовування вакуумних систем і вакуумованих виробів	0,02Р
			Камерний		

Продовження табл.4.9

1	2	3	4	5	6
5	Катарометричний	Реєстрація прониклих через течі речовин, теплопровідність яких відрізняється від теплопровідності повітря	Щупом	Перевіряння герметичності виробів, заповнених газом, який відрізняється теплопровідністю від повітря	10 <sup>-6</sup>
			Камерний		
6	Електроннозахватний	Реєстрація перетікання крізь течі електронегативних пробних речовин, схильних до утворення негативних іонів, за зміною струму розряду	Щупом	Вироби, які знаходяться під збитковим тиском електронегативних пробних речовин	10 <sup>-11</sup>
			Обдуванням	Випробовування вакуумних систем	10 <sup>-9</sup>
7	Акустичний	Реєстрація акустичних хвиль, збуджуваних під час витікання	Щупом	Перевіряння виробів, які знаходяться під збитковим тиском при невисоких вимогах до порога чутливості	10 <sup>-4</sup>

		пробних речовин через течі			
8	Хімічний	Реєстрація прониклих крізь течі речовин за ефектом хімічних реакцій з індикаторним покриттям	З використанням індикаторних покриттів	Контроль герметичності устаткування замкнених і незамкнених конструкцій	$10^{-9}$

Продовження табл.4.9

1	2	3	4	5	6
9	Пузирковий	Реєстрація бульбашок пробного газу, що проник через течі у виробі, який занурений в рідину або покритий мильною плівкою, здатною утворювати пузири	Зануренням у рідину	Контроль герметичності малогабаритних виробів під збитковим тиском. Контроль окремих ділянок великогабаритних виробів вакууванням	$10^{-8}$
			Вакууванням		
10	Люмінесцентно-колірний	Реєстрація контрасту колірного або люмінесцентного сліду речовини, що проникла, на фоні поверхні контрольованого об'єкта у видимому або	Візуальний огляд поверхні	Контроль герметичності великогабаритного устаткування	$10^{-9}$
			Фотоелектричний контроль		

		довгохвиль- овому ульт- рафіолете- вому ви- промінюванн і			
11	Яскрави- стий (ахрома- тичний)	Реєстрація контраста ахроматич- ного сліду, який утво- рюється про- никлою ре- човиною, на фоні по- верхні кон- трольованого об'єкта у ви- димому ви- промінюванн і	За допомо- гою різних покриттів	Контроль герметич- ності зварових кон- струкцій	$10^{-4}$

Якщо виріб має наскрізний дефект, гелій через вакуумну систему попадає в мас-спектрометр, де і здійснюється аналіз повітряно-гелієвої суміші.

Локальні методи контролю дають можливість точно визначити місцезнаходження течі.

**Сумарний метод вакуумування у вакуумній камері** – виріб, заповнений до атмосферного або трохи вищого тиску, розташовують у вакуумній камері і створюють вакуум близько 0,01...0,06 МПа (рис.4.59, в).

За наявністю наскрізного дефекту в оболонці виробу гелій попадає у вакуумовану камеру, відсмоктується насосом і передається в мас-спектрометр, де аналізується.

**Сумарний метод вакуумування в гелієвій камері** – виріб розташовують у гелієвій камері (рис.4.59, г), створюють тиск гелію вищий за атмосферний ( $> 0,1$  МПа), відсмоктують із виробу повітря (до 0,1...0,05 мм.рт.ст. або 13,3...6,65 Па) і витримують його в камері протягом 10...30 хв.

За наявністю наскрізного дефекту в оболонці виробу гелій попадає в його порожнину, а потім вакуумною системою – до мас-спектрометра.

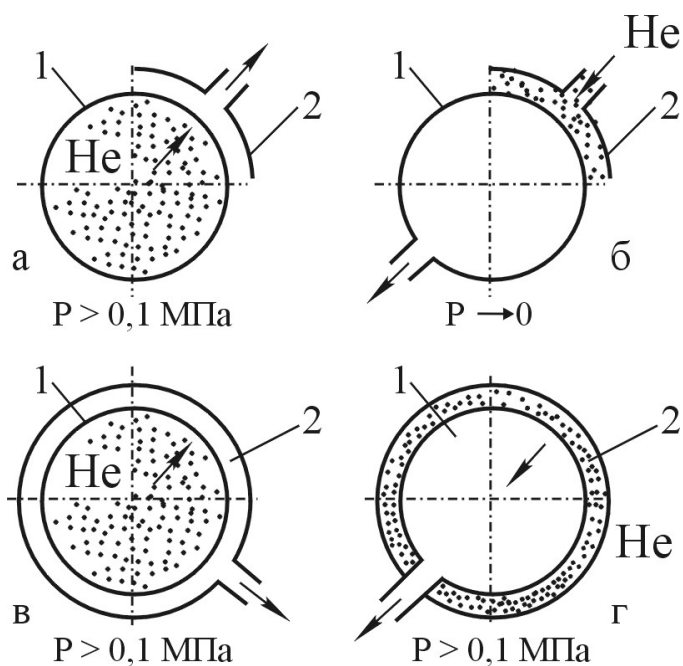


Рис.4.59. Схеми випробовувань виробів гелієм: а – локальний метод щупа; б – локальний метод вакуумування; 1 – виріб; 2 – щуп; в – сумарний метод вакуумування у вакуумній камері; г – сумарний метод вакуумування в гелієвій камері; 1 – виріб; 2 – камера

Методи сумарної негерметичності дають можливість установити наявність наскрізного дефекту, але місце його знаходження необхідно виявляти локальним методом.

Методи сумарної негерметичності набагато продуктивніші від локальних, хоча за їх допомогою одним випробовуванням неможливо виявити місце розташування наскрізного дефекту;

– **течешукання галоїдами** – здійснюють з використанням сумішей, які складаються із повітря і галоїдного газу (фреон,  $SF_6$ ,  $CCl_4$ , хлороформ).

Технологія контролю виробів така ж, як і під час використання гелію; течу виявляють спеціальним приладом – течешукачем.

Течешукання галоїдами також використовують для контролю виробів атомної енергетики, космічної і військової техніки;

– **течешукання пневматичними методами:**

1) течешуканню з використанням стиснутого повітря (азоту) піддають вироби, які мають форму посудин, патрубків, пневмо- і гідроциліндрів тощо. У виріб закачують повітря або азот до тиску, більшого, ніж робочий, на 20...25% і витримують протягом 10...100 год. Негерметичність визначають за спадом тиску. Доцільним у цьому випадку для виявлення місця розташування течі використовувати розчин мила або спеціальну деформівну масу, які наносять на поверхню контрольованого виробу. Деформівну масу використовують під час випробовування відповідальних і особливо відповідальних виробів.

Основою пінного індикатора слугують поверхнево-активні речовини, гліцерин і вода. Гліцерин додають у розчин для зниження швидкості висихання піни. У деформівну масу додають наповнювачі – оксид титану  $TiO_2$  (5%) або каолін (10%);

2) течешукання вакуумуванням використовують для контролю окремих ділянок великогабаритних виробів або таких, в яких не можна створити збитковий тиск. У цьому випадку на поверхню виробу накладають камеру з прозорим верхом (рис.4.60). Перед накладанням камери поверхню виробу змочують мильним розчином (30 г мила на 1 л води). У камері створюють вакуум (0,01...0,06 МПа): у місцях розташування наскрізних дефектів з'являються пухирі, які видно через прозорий верх;

– **контроль шорсткості виробів пневматичним методом** – особливості рельєфу поверхонь литих деталей (виправків) утруднюють оцінку їх шорсткості за допомогою профілометрів та профілографів. Вони придатні тільки для приблизної оцінки шорсткості поверхні вилівка. Похибка під час вимірювання шорсткості такими приладами досягає 30% у бік збільшення показників завдяки інерційності системи вимірювання та хаотичного розташування виступів і западин.

Цих недоліків позбавлений пневматичний метод контролю шорсткості, заснований на залежності тиску повітря в камері (пальпері), притиснутої до поверхні вилівка, від її шорсткості.

Вимірювання засноване на диференційному принципі: під час контролю шорсткості стиснуте повітря проходить трубкою 9 (рис.4.61) та каліброваними соплами 1, 2, 8 до пальпера 3 і вимірювального клапана 6.

Пропускню здатність клапана 6 регулюють так, щоб вона була рівною пропускній здатності зазора, утвореного контрольною поверхнею виробу 4 і крайкою пальпера 3. Крайку пальпера обладнують гумою, що забезпечує необхідний контакт між нею і поверхнею виробу.

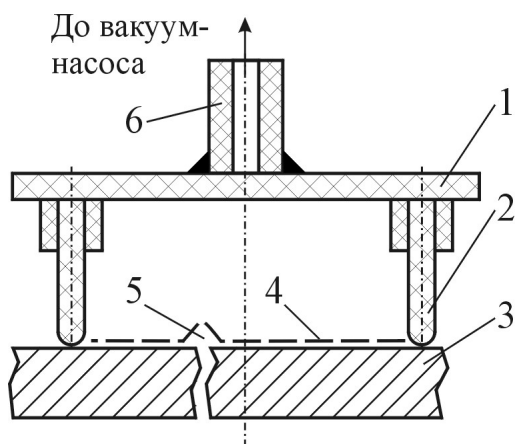


Рис.4.60. Схема виявлення наскрізних дефектів у великогабаритних виробах: 1 – вікно-кришка із оргскла; 2 – гумове ущільнення; 3 – виріб; 4 – шар мильного розчину; 5 – пухир; 6 – патрубок

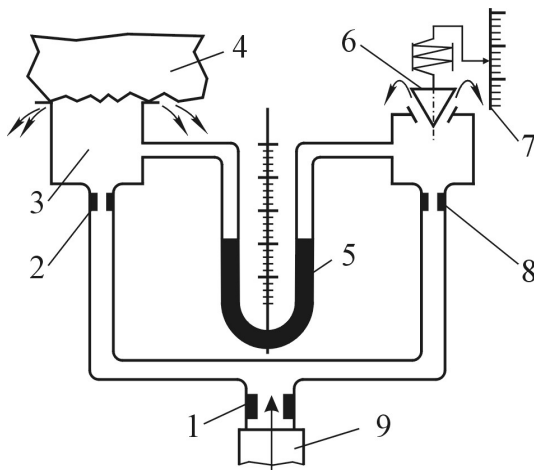


Рис.4.61. Схема приладу для визначення шорсткості поверхні виливків: 1, 2, 8 – сопло; 3 – пальпер; 4 – виліт; 5 – диференційний манометр; 6 – вимірювальний клапан; 7 – шкала; 9 – трубка

Після досягнення дифманометром 5 нульового положення (див. рис.4.61) фіксують показ шкали 7, яка проградуєвана в одиницях шорсткості.

Градування шкали приладу здійснюють з використанням еталонних або робочих зразків шорсткості.

Прилад можна використовувати також як компаратор при порівнянні шорсткості поверхні вилівка і еталона. У цьому випадку замість вимірюваного клапана до приладу приєднують другий пальпер;

– **течешукання за допомогою хімічної індикації** – сутність методів полягає в тому, що

у виробі створюють збитковий тиск пробного газу (повітря з аміаком (1...10%), CO<sub>2</sub> тощо), а на поверхню виробу наносять шар індикаторної маси, пасти, накладають індикаторний папір або марлеву стрічку.

Пробний газ проникає через течі, вступає в хімічну реакцію з індикаторною речовиною і утворює відповідний рисунок.

Для аміаку, як пробного газу, готують індикаторну желеподібну масу, що розчиняється у воді або в спирті, мас.ч.: індикатор креозоловий червоний – 0,007; агар – 1,0; гліцерин – 10; вода або спирт – решта.

При використанні вуглекислого газу індикаторну масу готують такого складу, мас.ч.: агар – 1,0; фенолфталеїн – 0,15; сода зневоднена – 0,01; гліцерин – 10; вода – решта;

– **течешукання гідравлічними методами** – випробовування здійснюють заливанням води у виліт. За необхідністю створюють додатковий тиск удвічі вищий, ніж робочий, за допомогою напірної трубки або стиснутого повітря. Течу виявляють за струминками води або за спітнілими ділянками поверхні.

Для підвищення чутливості методів використовують водяні розчини, які мають підвищену проникну здатність, а також розчини з радіоактивними добавками.

**Контроль якості литих чавунних труб** здійснюють з використанням спеціального гідравлічного устаткування, наприклад, преса мод. ПА-061, який забезпечує можливість проконтролювати труби діаметром 100...350 мм і довжиною 3...6 м; зусилля затискування труби –

до 90 т, тиск у робочому циліндрі – до 10 МПа, а у випробовуваній трубі – до 5 МПа.

Прес (рис.4.62) складається із сталеві рами 1 з закріпленими до неї правою траверсою 14 і стояком 5, які стягнуті колонами 11.

Ліва траверса 7 встановлена на візку 2, який за допомогою електромеханічного привода переміщується залежно від довжини випробовуваної труби. Ліва траверса 7 фіксується замком 3, скобелі якого входять у пази стягувальних колон 11. Замок приводиться в дію спареним пневмоприводом 4. На візку 2 розташований важільний механізм 10 завантажування і вивантажування труб з приводом від поршневого пневмопривода і рейкової передачі. У правій траверсі 14 розташовані два фіксувальні гідроприводи 15 і робочий гідропривод 16, поршень якого з'єднаний з рухомою траверсою 13, яка переміщується колонами 11.

Гідроприводи 15 і 16 забезпечуються оливою від станції на правій траверсі 14. Станція обладнана синхронізатором тиску у випробовуваній трубі і робочому гідроприводі 16.

Воду можна подавати від індивідуального обертового циклу водопостачання підприємства, а також від загальної системи постачання технічної води. В останньому випадку мають місце значні утрати води.

Для збільшення тиску в заповнюваній водою трубі використовують перетворювач, встановлений поруч із пресом на загальному фундаменті.

Прес може працювати в трьох режимах: автоматичному, напівавтоматичному і поопераційному.

Після розміщення контрольованої труби на важільному механізмі 10, останній автоматично або за командою з пульта встановлює трубу по осі траверс.

Ліва траверса 7 переміщується, стикається з торцем труби і фіксується замком 3. Під дією фіксувальних гідроприводів 15 і підпресовувального механізму 9, які попередньо затискають трубу в гумових вставках 8, рухома траверса 13 переміщується вліво.



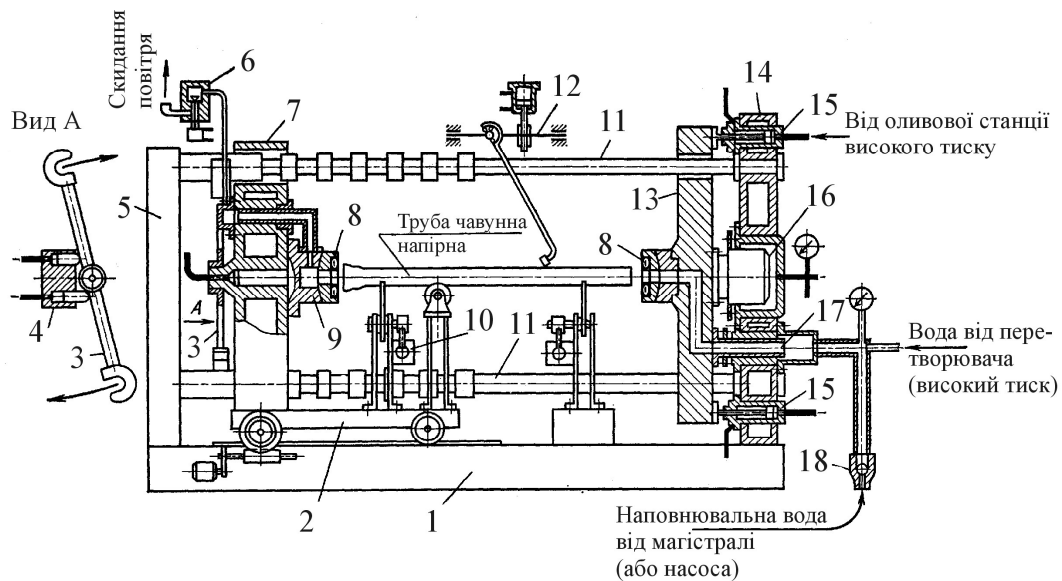


Рис.4.62. Прес для гідровипробовування труб: 1 – сталева рама; 2 – візок; 3 – замок; 4 – спарений пневмопривод; 5 – стояк; 6 – клапан скидання повітря; 7 – ліва траверса; 8 – гумові вставки; 9 – підпресовувальний механізм; 10 – механізм завантажування і вивантажування труб; 11 – колони; 12 – механізм обстукування труб; 13 – рухома траверса; 14 – права траверса; 15 – гідроприводи фіксувальні; 16 – гідропривод робочий; 17 – телескопічний циліндр; 18 – зворотний клапан

Через зворотний клапан 18 і телескопічний циліндр 17 в трубу подають воду, а повітря, яке знаходиться в трубі, скидають в атмосферу через клапан 6. Включають робочий гідропривод 16, який остаточно затискує трубу, і перетворювач, який збільшує тиск у трубі та підтримує його протягом 15 с. Одночасно механізм 12 починає обстукувати трубу.

Після випробовування ліву траверсу 7 розфіксують і одночасно з рухомою траверсою 13 повертають у вихідне положення. Випробувану трубу механізмом 10 видаляють із преса, а воду, що її заповнювала, виливають на приймальні лотки, які установлені за пресом, і в каналізацію або повертають в обертovu магістраль.

Поверхню труби після видалення її із виливниці фарбують індикаторним проявником (розчином крейди або тальку, оксидом цинку тощо). Течу виявляють за струминками води або за спітнілими ділянками поверхні труби;

**- пазирькові методи контролю** – використовують виключно для випробовувань замкнених об'єктів.

Найбільш простий метод – занурення виробу у воду і створення в ньому надлишкового тиску. Реєстрацію течей здійснюють за пазирьками, які утворюються в місцях наскрізних дефектів.

Схема пазиркового методу контролю течешуканням наведена на рис.4.63.

Якщо вироби великогабаритні і розмістити їх у ванні неможливо, то зовнішні поверхні таких виробів покривають пінистими речовинами (наприклад, мильним розчином) і течі виявляють за мильними пазирями;

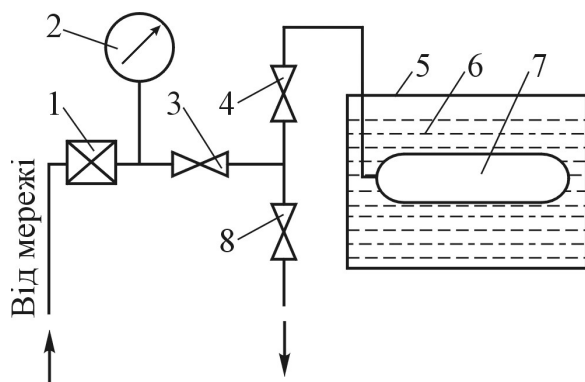


Рис.4.63. Схема пазиркового методу контролю течешуканням: 1 – редукторний клапан; 2 – манометр; 3 – клапан; 4 – запобіжний клапан; 5 – бак; 6 – вода; 7 – контрольований виріб; 8 – вентиль зняття тиску повітря

бують крейдовою фарбою і висушують;

– **течешукання методами пенетрантів** – у пробну рідину додають фарби або люмінофори. Чутливість методів при цьому суттєво підвищується.

Для виявлення дефектів виріб оглядають при опроміненні поверхні ультра-фіолетовими променями або на поверхню виробу наносять шар суспензії – проявника, яка зафарбовується в місцях розташування дефектів.

**Промислова апаратура течешукання.** Найвищу чутливість мають промислові мас-спектрометричні течешукачі, які реагують тільки на пробну речовину, незалежно від присутності чужорідних парів і газів.

Практично не реагують на повітря або інші речовини галогенні течешукачі, рис.4.64.

На жаль, пари розчинників і інших галогеномістних сполук можуть створювати фонові сигнали. Із збільшенням фонового сигналу і його нестабільності знижуються достовірність і чутливість методу.

– **течешукання гасом** – використовують для контролю зварових з'єднань паливних посудин, нафтових резервуарів, цистерн і інших виробів, в яких можливий доступ до зварових швів з обох боків.

В основу методу покладена висока проникна здатність гасу. Для контролю на поверхню виробу наносять гас і витримують 15...60 хв.

Дефекти виявляються у вигляді плям на протилежній поверхні виробу.

Для підвищення чутливості методу перед випробуваннями поверхню виробу фарбують крейдовою фарбою і висушують;

У той же час при використанні надвисокого вакууму цим методом можна зафіксувати гранично малі течії, які знаходяться за порогом чутливості мас-спектрометричного методу.

Течешукач ГТИ-6 (рис.4.65) з вакуумним перетворювачем використовують для перевіряння герметичності вакуумних систем з відносно низькими вимогами до їх герметичності.

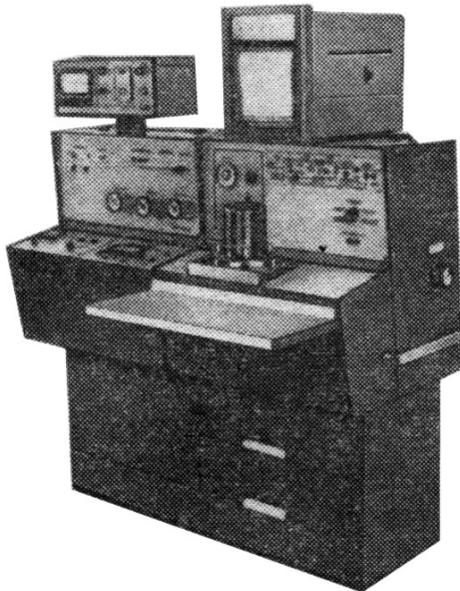


Рис.4.64. Течешукач гелієвий СТИ-11

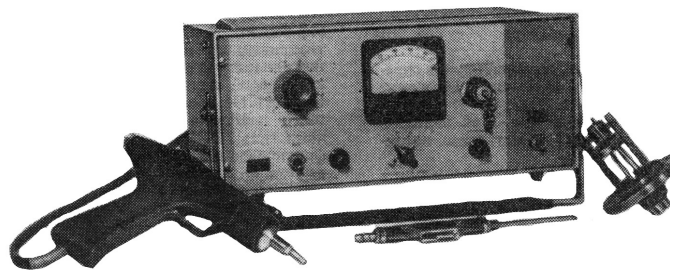


Рис.4.65. Галогенний течешукач ГТИ-6

Течешукач з атмосферним перетворювачем – використовують для контролю газонаповнених систем і виробів, які вмістять галогени у робочому заповненні або такі, що допускають опресовку галогеновмістними проникливими речовинами, при цьому використовують фреони 12 і 22.

#### 4.3.7 Радіаційні методи контролю

Радіаційний неруйнівний контроль заснований на реєстрації і аналізі прониклого через контрольований об'єкт іонізованого випромінювання.

Інтенсивність прониклого через деталь випромінювання залежить від товщини стінки останньої та наявності дефектів. Джерело випромінювання розташовують з одного боку виробу, а детектор, який контролює інтенсивність, з протилежного боку.

Під час проходження через виріб іонізоване випромінювання послаблюється – поглинається і розсіюється. Ступінь послаблення зале-

жить від товщини і щільності контрольованого об'єкта та від інтенсивності  $M$  і енергії  $E$  випромінювання. Схема просвічування виробу наведена на рис.4.66. За наявності в об'єкті внутрішніх дефектів розміром  $\Delta l$  змінюється інтенсивність і енергія пучка випромінювання. Проте, якщо під час контролю дефекти не виявлені, то це ще не значить, що їх там немає.

Дефект може бути розташований так, що за вибраною схемою просвічування він не виявляється (напрямок його розташування співпадає з напрямком пучка випромінювання) або він дуже малий.

Основними характеристиками радіаційних методів є:

– **виявність дефектів** – характеризується відношенням кількості виявлених дефектів до загальної кількості їх у виробі:

$$n = \frac{N_B}{N_3}, \quad (4.23)$$

де  $N_B$  – кількість виявлених дефектів, шт;

$N_3$  – загальна кількість дефектів у виробі, шт;

– **чутливість** – мінімальна протяжність дефекту або дефектів, які виявлені в напрямку просвічування, у відсотках до товщини виробу:

$$k = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100 \quad (4.24)$$

Чутливість залежить від багатьох факторів, зокрема, від потужності енергії випромінювання, ступеня її розсіювання, габаритних розмірів виробу, властивостей матеріалу, з якого він виготовлений, експозиції просвічування, типу плівки, геометричних параметрів просвічування тощо.

Методи радіаційного контролю розрізняють за способами детектування дефектоскопічної інформації, рис.4.67.

Радіоактивність розділяють на **природну** і **штучну**.

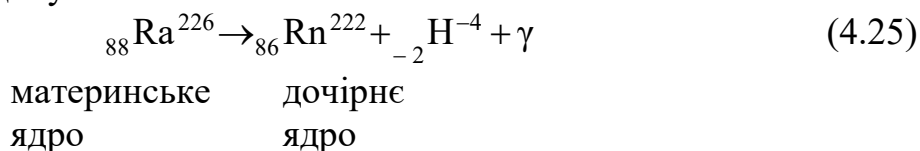
**Природна радіоактивність** – це самочинне розпадання нестійких ядер. За Бором усі елементи періодичної системи, починаючи з 84-го, є радіоактивними. Нестійкі ядра, розпадаючись, випромінюють:

–  $\alpha$ -частки: потік ядер гелію  ${}_{-2}\text{He}^{-4}$ ;

–  $\beta$ -частки: потік електронів і позитронів;

–  $\gamma$ -фотонне випромінювання (електромагнетні коливання).

Прикладом радіоактивного перетворення є розпадання радію з утворенням радону:



де 226 – масове число: сума протонів і нейтронів в ядрі;  
88 – номер елемента: кількість протонів.

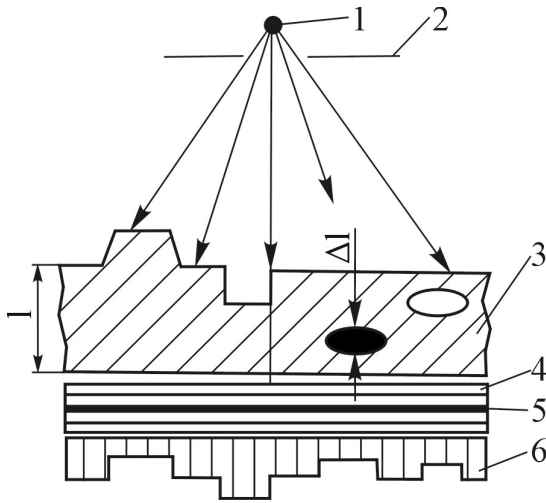


Рис.4.66. Схема просвічування виробу: 1 – джерело випромінювання; 2 – діафрагма; 3 – виріб; 4 – касета; 5 – плівка; 6 – еюра інтенсивності прониклого через виріб випромінювання

– опроміненням неактивних заготовок – мішеней на циклотронах.

Деякі штучні радіоактивні джерела та їх характеристики наведені в табл.4.10.



Рис.4.67. Класифікація методів радіаційного контролю

Таблиця 4.10. Радіоактивні ізотопи елементів, їх характеристики і можливості

Інд. поз.	Радіоактивний ізотоп			Ефективна товщина просвічуваних матеріалів, мм
-----------	----------------------	--	--	--

Вироби просвічують з використанням різних видів іонізованого випромінювання, класифікація яких наведена на рис.4.68.

У цьому випадку виокремлюються тільки  $\alpha$ -частки та  $\gamma$ -випромінювання.

**Штучну радіоактивність** одержують:

– опроміненням неактивних заготовок у нейтронних потоках ядерних реакторів.

Використовують також бомбардування неактивних заготовок  $\alpha$ -частками, нейтронами, ядрами важкого водню і  $\gamma$ -фотонами;

– розподілом залишкових продуктів поділу палива ядерних реакторів;

		Енергія випромінювання, МеВ	Період піврозпаду	залізо	титан	алюміній	магній
1	Кобальт-60 (Co <sup>60</sup> )	1,17 1,33	5,3 роки	30... 200	60... 340	150... 550	280... 820
2	Цезій-137 (Cs <sup>137</sup> )	0,66	33 роки	15... 150	20... 200	50... 400	100... 550
3	Європій-154, 152 (Eu <sup>154, 152</sup> )	0,12 0,34 0,78 1,11	16 років	20...80	40... 150	95... 300	130... 420
4	Тулій-170 (Tu <sup>170</sup> )	0,084	129 днів	1...20	2...40	5...70	20... 170
5	Європій-155 (Eu <sup>155</sup> )	0,087 0,106	1,7 року	0,5... 6,0	1...10	3...30	7...75
6	Селен-75 (Se <sup>75</sup> )	0,076 до 0,405	127 днів	5...30	7...50	20... 200	30... 250

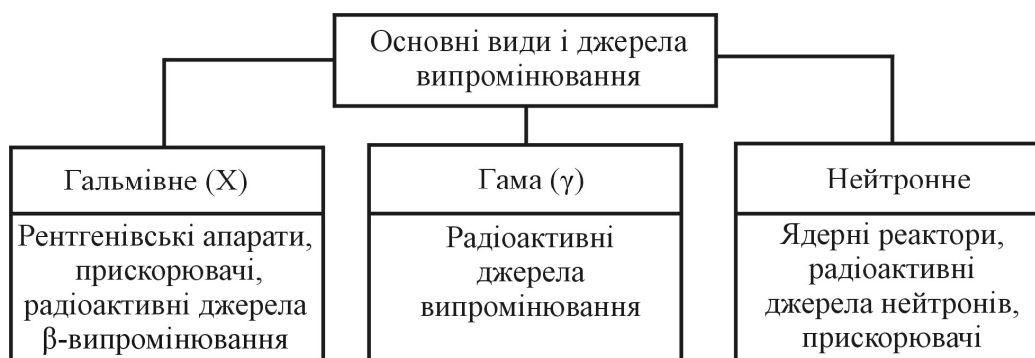


Рис.4.68. Класифікація джерел іонізованого випромінювання  
Радіонукліди є активною частиною джерела випромінювання.

Їх розміщують у герметичних ампулах, які виготовляють із неіржавкої сталі 10X18H10T.

Ампули можуть бути завареними, завальцьованими і на нарізі, рис.4.69. Їх зберігають у свинцевих контейнерах. Спосіб герметичності, матеріал і кількість ампул залежать від потужності експозиційної дози (ПЕД) випромінювання, фізичного стану і властивостей нуклідів.

Основними радіаційно-дефектоскопічними характеристиками джерел радіаційного випромінювання є:

– **енергія E** (спектральний склад) випромінювання, яка визначає проникну здатність випромінювання і виявність дефектів у контрольованих матеріалах різної товщини і щільності;

- **потужність Р** експозиційної дози (ПЕД) випромінювання, яка визначає продуктивність контролю, а також вимоги щодо техніки безпеки і конструкції захисних пристроїв;
- **питома активність джерела** випромінювання, яка визначає розміри активної частини, а отже, геометрію контролю, нечіткість зображення і виявність дефектів;
- **наявність радіоактивних домішок** у джерелі випромінювання, які можуть суттєво погіршувати виявність дефектів під час використання джерел низькоенергетичного випромінювання;
- **період піврозпаду  $T_{1/2}$** , який визначає періодичність заміни джерел і витрати на їх придбання і поховання.

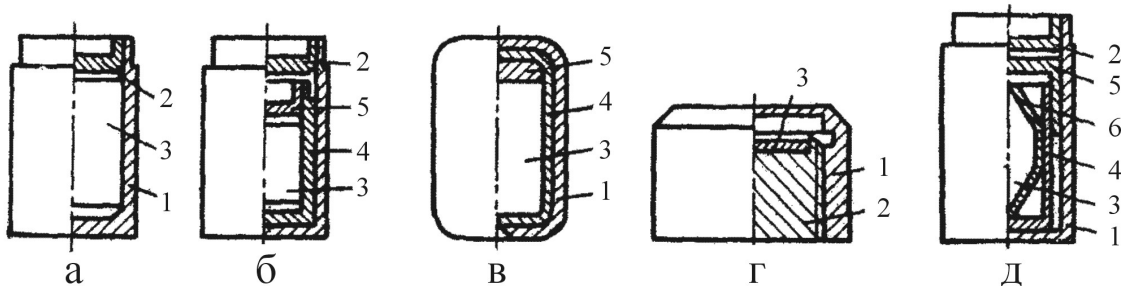


Рис.4.69. Конструкції радіоактивних дефектоскопічних джерел: а, б – зварене; в – завальцьоване; г – на нарізі; д – зварене; 1 – зовнішня ампула; 2, 5 – кришки; 3 – активна частина; 4 – внутрішня ампула; 6 – балон

Під час радіоактивного розпаду середня кількість ядер, які розпадаються за одиницю часу, завжди складає визначену для даного елемента долю загальної кількості ядер і визначається сталою радіоактивного розпаду.

**Періодом піврозпаду** називають час, протягом якого кількість радіоактивних ядер зменшується вдвічі. Він може вимірюватись від мільйонів років до долей секунди.

**Рентгенівські апарати.** Рентгенівські установки складаються із рентгенівського випромінювача, джерела високої напруги і контрольованої апаратури, рис.4.70.

Високовольтний генератор перетворює напругу мережі в напругу живлення рентгенівської трубки. До складу високовольтного генератора входять: перетворювачі змінного струму в постійний (кенотрони, діоди), конденсатори для фільтрації і подвоєння напруги, трансформатори розжарювання нитки катода рентгенівської трубки, трансформатори розжарювання кенотронів, вимикачі і захисні пристрої.

Контрольно-вимірювальна частина рентгенівського апарата уявляє собою групу приладів, які слугують для зміни і регулювання часу, струму, напруги і частоти (реле часу, вимірювальні прилади, переривачі, селектори, захисні прилади тощо).

Рентгенівський випромінювач (рис.4.71) складається із рентгенівської трубки і захисного кожуха, який заповнений ізолювальним середовищем: трансформаторною оливою, повітрям або нейтральним газом під тиском.

Оболонка трубки уявляє собою запаяний скляний балон. Анод 4 виготовляють із мідного порожнистого циліндра, до якого приварюють вольфрамову мішень, а катод 1 – у вигляді спіралі із товстого вольфрамового дроту.



Рис.4.70. Структурна схема рентгенівської установки

До електродів від високовольтного трансформатора підводять високу напругу, а до спіралі – низьку. Під час розжарювання спіралі катода внаслідок термоелектронної емісії від неї відокремлюються електрони (див. рис.4.71), які за допомогою фокусівних пластин набувають форму вузького пучка і під дією електричного поля з великою швидкістю рухаються до анода.

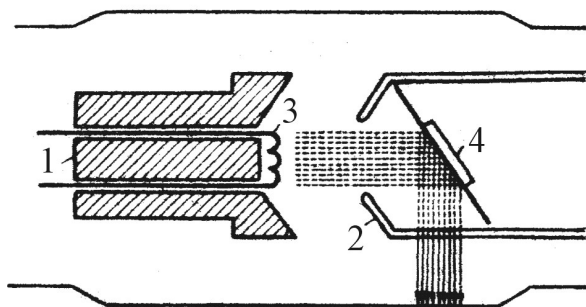




Рис.4.71. Схема рентгенівської трубки: 1 – катод; 2 – фокусівні пластини; 3 – нитка розжарювання; 4 – анод

Електронний пучок гальмується вольфрамовою пластиною, при цьому **виникає гальмівне рентгенівське випромінювання**, яке і використовують у дефекто-

скопії. Рентгенівське випромінювання має безперервний спектр, поряд з ним виникає **характеристичне** випромінювання, яке має переривчастий спектр. Воно утворюється внаслідок процесів, що протікають у збуджених прискореними електронами атомах матеріалу анода, і супроводжується енергетичними переходами.

Характеристичне випромінювання використовують під час рентгеноструктурного та спектрального аналізів.

Рентгенівські апарати мають низький коефіцієнт корисної дії (ККД) (кількість енергії, яка використовується для дефектоскопії).

Так, у рентгенівських трубках напругою до 60 кВ тільки 0,1% енергії електронного пучка перетворюється в енергію рентгенівських променів.

При напрузі 100 кВ ККД трубки збільшується до 1%, при 2-х МеВ він досягає 10%, а при 15-и МеВ – більше 50%.

Променева віддача трубки залежить від пришвидшувальної напруги і попередньої фільтрації випромінювання. Із збільшенням струму трубки при сталій напрузі зростає інтенсивність випромінювання (рис.4.72, а).

Збільшення пришвидшувальної напруги при сталому анодному струмі змінює спектр випромінювання із зміщенням максимуму випромінювання в бік коротких хвиль (рис.4.72, б).

Електричні властивості рентгенівської трубки характеризуються пришвидшувальною напругою  $U$ , анодним струмом  $I$  і струмом розжарювання спіралі катода.

Оптичні властивості рентгенівської трубки визначаються формою і розмірами оптичного фокуса трубки. Використовують, переважно, трубки з круглим і прямокутним (лінійним) фокусом. У рентгенівських трубках з лінійним фокусом розміри зони, в якій електрони стикаються з мішенню, не відповідають розмірам уявної фокусної плями. Ця зона уявляє собою прямокутник, тоді як уявна фокусна пляма є квадратом.

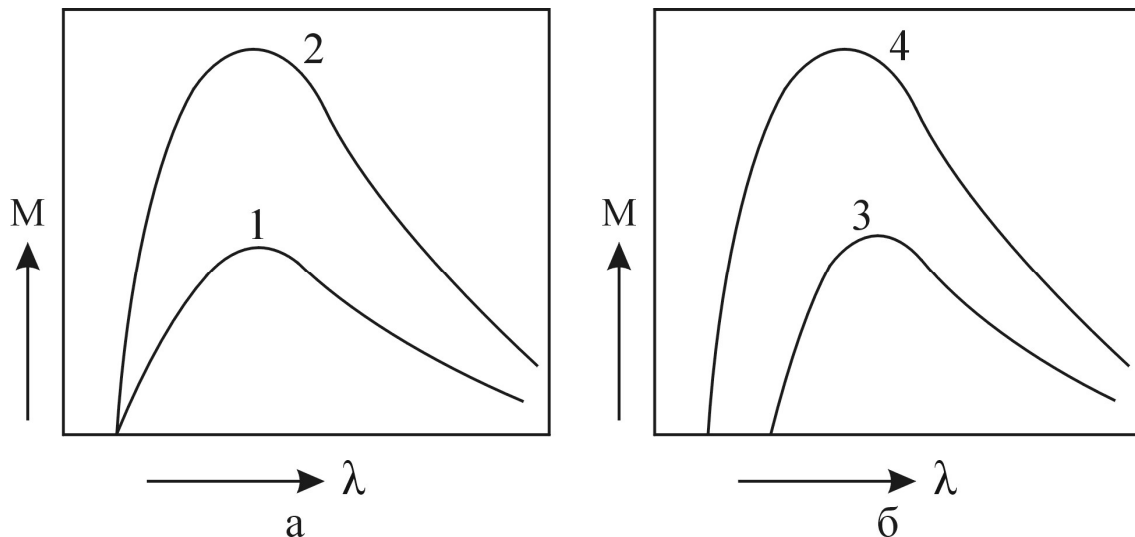


Рис.4.72. Залежність інтенсивності рентгенівського випромінювання від струму (а) і напруги (б): 1 – малий струм; 2 – високий струм; 3 – низька напруга; 4 – висока пришвидшувальна напруга

Високовольтні рентгенівські трубки не можуть бути двоелектродними, оскільки під час використання високого прискорюваного поля (більше 400 кВ) виникають автоелектронна емісія, електричні пробой, розсіювання і відбивання електронів. Тому високовольтні рентгенівські трубки виготовляють секційними, які складаються із катода, проміжних електродів і порожнистого анода. Порожнистий анод майже повністю уловлює відбиті електрони. Можливість високовольтного вакуумного пробоя вилучається великою відстанню між анодом і катодом.

У радіаційній дефектоскопії використовують рентгенівські трубки звичайної двоелектродної конструкції, дво- і однополярні (рис.4.73), спеціалізовані конструкції з винесеним порожнистим анодом (рис.4.74), з обертовим анодом (рис.4.75) тощо.

**Джерела високоенергетичного фотонного випромінювання.** Зважаючи на те, що внаслідок низької енергії  $\gamma$ -квантів рентгенівських джерел випромінювання і радіоактивних джерел, межа товщини деталей, які просвічуються, обмежена, оскільки під час використання цих джерел суттєво зростає час просвічування.

Для джерела з певною енергією випромінювання існує максимальна товщина контрольованого об'єкта, понад яку контроль практично неможливий.

Дефектоскопію виробів великої товщини і складної геометрії здійснюють з використанням джерел гальмівного випромінювання з енергією до декількох десятків МеВ. Такими джерелами випромінювання є електростатичні генератори, прискорювачі прямої дії, бетатрони, лінійні прискорювачі, мікротрони.

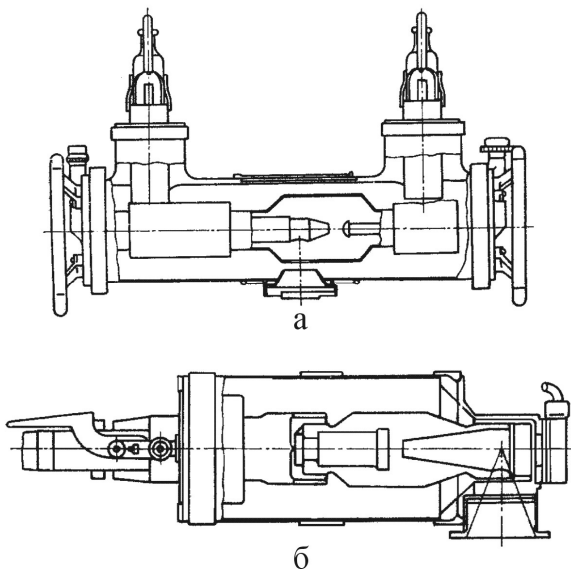


Рис.4.73. Схеми двополярної (а) і однополярної (б) рентгенівських трубок

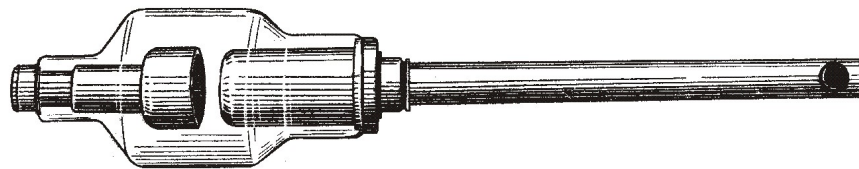


Рис.4.74. Рентгенівська трубка з винесеним порожнистим анодом

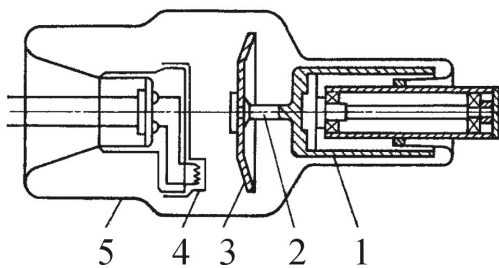


Рис.4.75. Рентгенівська трубка з обертовим анодом: 1 – ротор; 2 – стержень анода; 3 – анод; 4 – катод; 5 – балон

Висока енергія випромінювання цими джерелами дає можливість використовувати їх для контролю виробів товщиною понад 70 мм.

**Лінійний прискорювач** – виконаний у вигляді вакуумної циліндричної прискорювальної камери 1 з фокусувальним електромагнетом 7, розташованим на поверхні циліндра, рис.4.76.

Високочастотний генератор 6 забезпечує одержання в хвильоводі 4 бігучої електромагнетної хвилі, електричне поле якої направлене вздовж осі циліндра.

Електрони, які генеруються імпульсною пушкою 2 з енергією 30...100 кеВ, прискорюються електричним полем бігучої хвилі.

Прискорені електрони попадають на мішень 5, в якій виникає гальмівне випромінювання з високою експозиційною дозою.

Перевагою лінійних прискорювачів є висока інтенсивність гальмівного випромінювання.

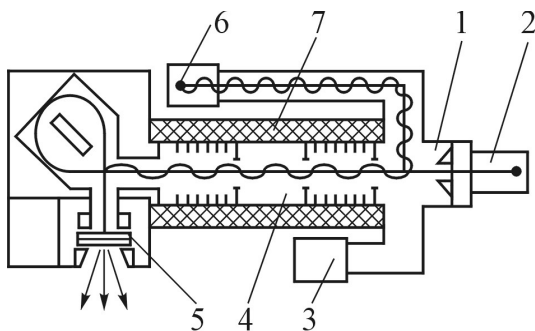


Рис.4.76. Схема лінійного прискорювача: 1 - камера; 2 - електронна пушка; 3 - вакуумний насос; 4 - хвильовід; 5 - мішень; 6 - генератор; 7 - електромагнет

Лінійні прискорювачі з енергією 10...25 МеВ створюють гальмівне випромінювання, потужність експозиційної дози якого складає 2000...25000 Р/хв. на відстані 1 м від мішені. Завдяки цьому їх використовують для контролю зварюваних швів товщиною 400...500 мм. Прискорювачі уявляють собою компактні установки, до складу яких входять випромінювач і блоки електроживлення, теплообмінників і управління.

**Бетатрони** – найпоширеніший у радіаційній дефектоскопії прискорювач електронів. У бетатроні прискорення електронів здійснюється під час їх руху в тороїдальній вакуумній камері 1 (рис.4.77), яка розташована між полюсами електромагнета 2.

Електронна пушка 3 генерує електрони в тороїдальну камеру, де вони прискорюються у вихоровому електромагнетному полі, яке створюється змінним магнетним полем. Магнетне поле, яке з часом зростає, не тільки забезпечує прискорення електронів, але і утримує їх на орбіті сталого радіуса, яка проходить усередині бетатрона.

Електрони прискорюються до швидкості поширення світла за час, рівний четвертій частині періоду електричного струму, тобто за 1/200 с проходять приблизно 1000 км.

Після розганяння до необхідної енергії, електрони за допомогою додаткового магнету відхиляються на орбіту з меншим радіусом і бомбардують мішень 5, виготовлену із вольфраму, при цьому виникає гальмівне випромінювання суцільного спектра.

Фокусування пучка електронів здійснюється в процесі їх прискорення, внаслідок цього діаметр пучка перед стиканням з мішенню має декілька десятків мікрометрів. Таким чином, фокус пучка гальмівного випромінювання в бетатронів менший за розмірами, ніж у лінійних прискорювачів і мікротронів.

Бетатрони – складні пристрої масою від 100 кг (ПМБ-6) до 6 т (Б-30, Б-35). За їх допомогою можна контролювати сталеві вироби товщиною до 500 мм.

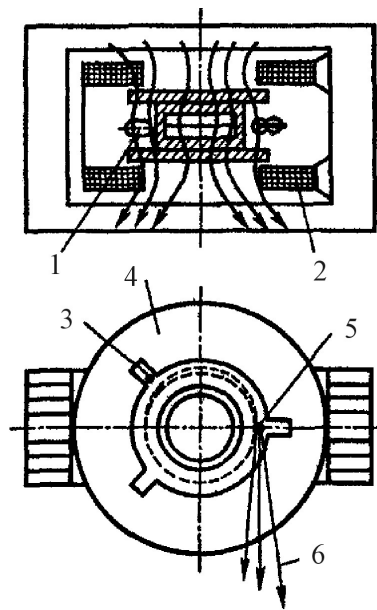


Рис.4.77. Схема бетатрона:  
 1 – камера; 2 – електромагнет;  
 3 – електронна пушка; 4 – корпус  
 магнета; 5 – мішень; 6 – рент-  
 генівське випромінювання

тотної напруги під час кожного пересікання електронами прискорювального зазора резонатора.

Резонатор збуджується через хвильовід 6 потужним імпульсним магнетроном 5. Вакуумна камера знаходиться під безперервним відкачуванням повітря за допомогою насоса 7. Прискорені електрони на останній орбіті або попадають на мішень 8, в якій виникає рентгенівське випромінювання з експозиційною дозою, що достатня для використання в дефектоскопії, або за допомогою спеціального пристрою виводять із камери.

Електронний пучок мікротрона, на відміну від інших типів прискорювачів, має високу моноенергетичність.

Основними перевагами мікротрона є висока інтенсивність рентгенівського випромінювання, мала витратність і відносно малий поперечний переріз пучка електронів (ефективна фокусна пляма складає 2...3 мм у діаметрі).

Наведені переваги мікротрона дають право стверджувати, що таке джерело випромінювання є досить перспективним для радіаційної дефектоскопії. Досить навести приклад, що під час використання мікротрона час, необхідний для просвічування деталі, у порівнянні з ізотопом  $Co^{60}$ , скорочується в 15...20 разів, а чутливість контролю досягає 0,8...1,0%.

Промисловість випускає бетатрони з енергіями випромінювання 3...35 МеВ. Використовують бетатрони тільки під час радіографії.

**Мікротрон** – циклічний резонансний прискорювач електронів із сталим за часом і однорідним полем.

У мікротроні (рис.4.78) електрони, які попадають у вакуумну камеру 1, рухаються колами різного радіуса, але мають загальну точку дотикання в тому місці, де розташований резонатор 2, надвисокочастотне поле якого прискорює електрони.

Резонанс прискорення створюється внаслідок кратного збільшення періоду високачас-

**Використання радіоактивних ізоотопів у дефектоскопії.** Необхідно відзначити, що рентгенівські і  $\gamma$ -промені, як і світлові, і радіохвилі мають електромагнетну природу, але відрізняються від останніх малою довжиною хвилі.

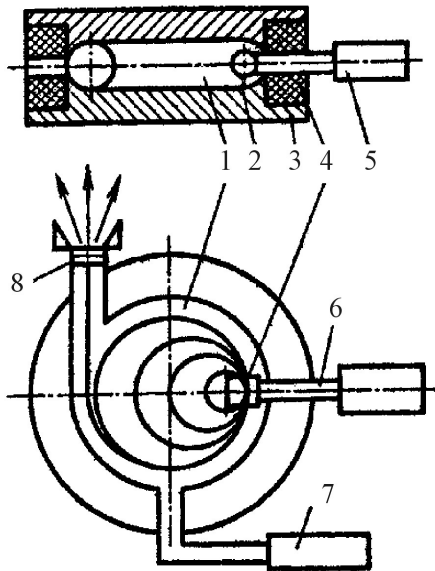


Рис.4.78. Схема мікротрона:  
 1 – камера; 2 – резонатор;  
 3 – електромагнет; 4 – обмотка збудження; 5 – магнетрон;  
 6 – хвильовід; 7 – вакуумний насос; 8 – мішень

Довжина хвилі будь-якого електромагнетного випромінювання зв'язана з його енергією обернено пропорційною залежністю, тобто чим менша довжина хвилі, тим більша його енергія, а отже, і проникна здатність. Короткохвильове випромінювання називають жорстким, а довгохвильове – м'яким.

Різниця між рентгенівським і  $\gamma$ -випромінюванням полягає в природі їх виникнення:

- **рентгенівське** – позаядерного походження;
- **$\gamma$ -випромінювання** – продукт розпадання ядер.

Багато радіоактивних ізоотопів мають більш жорстке випромінювання (наприклад,  $\text{Co}^{60}$ ), ніж рентгенівське.

У радіаційній дефектоскопії використовують такі характеристики процесів:

- **інтенсивність випромінювання** – енергія, яка переноситься випромінюванням за одиницю часу через малу сферу і віднесена до площі поперечного перерізу цієї сфери;
- **доза випромінювання** (доза, що поглинена) – енергія випромінювання, поглинена одиницею маси опромінюваної речовини;
- **потужність дози випромінювання** – збільшування поглиненої дози випромінювання.

У промисловості використовують радіоактивні ізоотопи (див. табл.4.10) в ампулах (див. рис.4.69) за допомогою радіоізоотопних дефектоскопів.

Радіоізоотопний дефектоскоп уявляє собою радіаційну головку з радіоактивним ізоотопом, до якої додано рушій джерела випромінювання, ампулопровід і пульт управління. Усі типи дефектоскопів поділяють на установки загальнопромислового призначення (універсальні шлангові дефектоскопи) і спеціального призначення для фронтального і панорамного просвічування.

**Шланговий дефектоскоп** – джерело випромінювання подається в зону контролю, тобто в робочу головку 6, із радіаційної головки 1 гнучким ампулопроводом 5 і формує панорамний пучок випромінювання (рис.4.79).

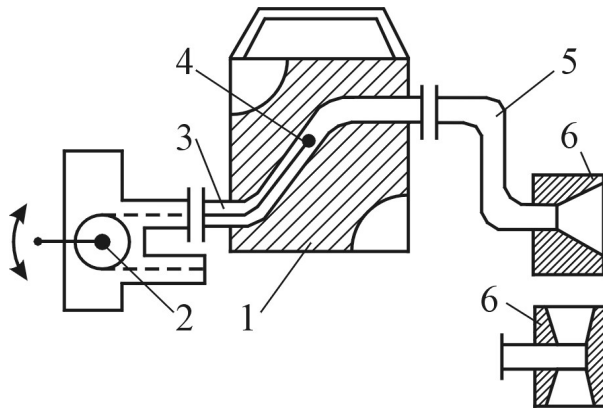


Рис.4.79. Кінематична схема шлангового дефектоскопа: 1 – радіаційна головка; 2 – рушій джерела випромінювання; 3 – подавальний трос; 4 - тримач джерела випромінювання; 5 – ампулопровід; 6 – робоча головка

Подача джерела випромінювання із радіаційної в робочу головку здійснюється за допомогою гнучкого троса 3, який приводиться в рух рушієм 2. Після здійснення радіаційного контролю джерело випромінювання повертають в радіаційну головку, де воно зберігається до наступного контролю. Переваги дефектоскопа (універсальність і можливість подавання малогабаритного джерела випромінювання на відстань до 5...12 м) перед рентгенівськими апаратами та іншими гама-

дефектоскопами роблять його кращим для радіографічного контролю в нестаціонарних умовах, особливо під час контролю виробів з важкодоступними ділянками.

**Фронтальний дефектоскоп** – призначений для роботи в польових і монтажних умовах, на стапелях або в цеху, коли використання універсальних шлангових дефектоскопів неможливе через обмеженість радіаційнозахисних зон. Дефектоскопи з фронтальним (направленим) опромінюванням (рис.4.80) використовують для контролю зварових з'єднань під час будівництва нафтогазопроводів („Газпром”), у суднобудівельній промисловості („Стапель-5М” і „Стапель-20”) і в машинобудуванні для контролю товстостінних виробів.

**Фактори, які необхідно враховувати в радіаційній дефектоскопії.** Проходження іонізованого випромінювання через речовину супроводжується деякими характерними явищами, які використовують у дефектоскопії:

- **фотоелектричний ефект** – під дією іонізованого випромінювання, яке проходить через речовину, електрони певної частини атомів цієї речовини втрачають свої зв'язки з атомами і відокремлюються від них. На це явище витрачається частина енергії випромінювання.

Фотоелектрони, які звільнилися під дією випромінювання, спричиняють люмінесценцію деяких речовин, що використовують у рентгенівській і  $\gamma$ -дефектоскопії в підсилювальних екранах;

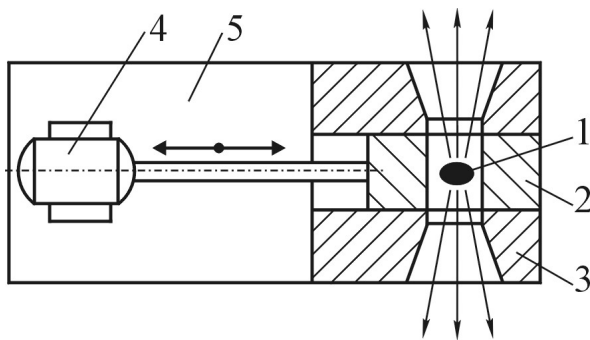


Рис.4.80. Схема фронтального дефектоскопа: 1 – джерело випромінювання; 2 – тримач джерела випромінювання; 3 – радіаційна головка; 4 – рушій тримача; 5 – корпус

ретворюється в теплову енергію внаслідок збільшення амплітуди коливань атомів і молекул;

– **фотографічна дія** – іонізоване випромінювання, яке проходить через фотографічну емульсію, що складається із бромистого срібла і рівномірно розподіленого в желатиновому шарі, втрачає частину своєї енергії, при цьому деяка кількість молекул бромистого срібла розпадається на атоми брому і срібла. Під час подальшого оброблення рентгенівської плівки бромисте срібло в місцях дії випромінювання відновлюється в металеве срібло, яке добре видно на прозорій основі плівки. Кількість відновленого металевого срібла, а отже, і почорніння плівки, пропорційно кількості енергії випромінювання, яка попадає на дану ділянку плівки;

– **іонізація** – рентгенівське і  $\gamma$ -випромінювання можуть спричинити іонізацію газів, тобто появу електричної провідності в газах, а також збільшувати провідність провідників. Ці явища використовують під час реєстрації і вимірювання інтенсивності випромінювання.

У техніці використовують прилади, які засновані на вимірюванні електропровідності газів (іонізаційні камери, газорозрядні лічильники). Для вимірювання інтенсивності випромінювання використовують також здатність деяких напівпровідників змінювати свою електричну провідність під дією випромінювання.

Змінювання заряду під дією рентгенівського або  $\gamma$ -випромінювання використовують у ксерографії (сухий метод реєстрації зображення просвічуваної деталі);

– **розсіювання рентгенівських і  $\gamma$ -променів** – рентгенівські і  $\gamma$ -промені надають електронам атомів опроміненої речовини коливальний рух з частотою, яка відповідає частоті коливань електромагнетного

– **вторинне характеристичне випромінювання**

– під час опромінювання речовин їх атоми можуть збуджуватися, а потім, повертаючись у вихідний стан, випромінювати характерні для цієї речовини промені. Збудження атомів або молекул також потребує певної частини енергії рентгенівського або  $\gamma$ -випромінювання;

– **тепловий ефект** – частина випромінювання, прониклого в речовину, перетворюється в теплову енергію внаслідок збільшення амплітуди коливань атомів і молекул;



поля рентгенівських або  $\gamma$ -променів первинного джерела. Електрони, які коливаються, в свою чергу випускають електро-магнетні хвилі, що утворюють вторинне або розсіяне рентгенівське випромінювання. Отже частина енергії первинного випромінювання витрачається на утворення вторинного випромінювання, причому вто-ринне ви-промінювання може спричиняти третинне і далі;

– **послаблення рентгенівського випромінювання** – під час проходження через речовину рентгенівські і  $\gamma$ -промені помітно слабшають, оскільки їх енергія частково витрачається на збудження деяких процесів (фотоелектричний ефект, іонізацію тощо). На рис.4.81. показана зміна інтенсивності випромінювання після проникання його через метал різної товщини. Із збільшенням товщини контрольованого виробу зменшується інтенсивність прониклих через нього променів, а отже, і чутливість методу.

**Способи реєстрації прониклого випромінювання.** Реєстрацію змінювання інтенсивності випромінювання, прониклого через виріб, здійснюють радіографічним, радіоскопічним і радіометричним методами.

**Радіографічний метод контролю** – заснований на перетворенні радіаційного зображення контрольованого об'єкта в радіографічний знімок або записи цього зображення на запам'ятовувальному пристрої з наступним перетворенням у світлове зображення.

Метод реалізують з використанням знімків, які одержують на спеціальних чутливих плівках, і методом ксерографії. Використовують один із перетворювачів випромінювання: рентгенівську плівку, рентгенівську плівку в різних комбінаціях з підсилювальними металевими і флюоресцивними екранами, фотопапір, ксерографічні пластини.

Радіографічний метод дає можливість виявити дефекти розмірами від 1,0 до 2,5% товщини деталі, що просвічується, в напрямку променя. Для одержання знімків використовують плівки на основі ацетатної нітроцелюлози. Чутливий шар наносять, переважно, з обох боків плівки для збільшення поглинання випромінювання.

Технологія рентгено- і  $\gamma$ -просвічування радіографічним методом складається із таких операцій:

- підготовлення деталі до просвічування (очищення від забруднення, знежирювання тощо);
- установлювання деталі в положення, яке забезпечить оптимальні умови виявлення можливого дефекту;
- установлювання плівки, підсилювальних екранів тощо;
- вибір режимів просвічування і експозиції деталі;
- просвічування деталі;
- оброблення рентгенівської плівки;
- розшифровування знімків.

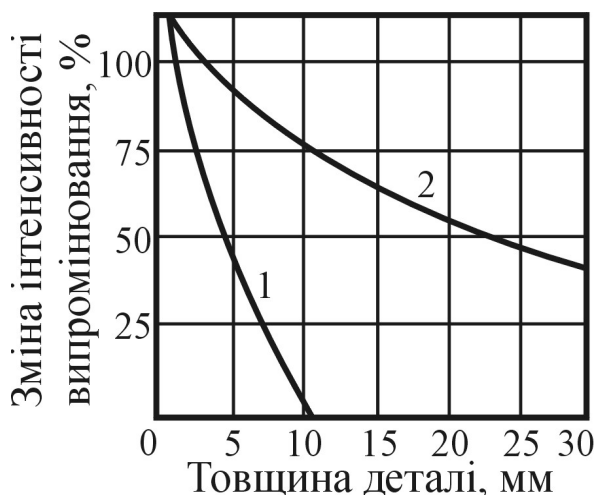


Рис.4.81. Змінювання інтенсивності випромінювання залежно від товщини деталі: 1 – залізо; 2 – магній

графічні плівки (РЦ-2).

Особливим способом одержання видимого зображення є **ксерографія**. Це один із перспективних методів реєстрації зображення. Основною перевагою методу є швидкість одержання ксерограми, що дуже важливо під час експрес-аналізу. Використання цього методу скорочує контроль до 2...3 хв. і не потребує хімічних реактивів і фотолабораторії.

Сутність методу реєстрації полягає в наступному: іонізоване випромінювання, яке проходить через шар попередньо зарядженого фотонапівпровідника, створює електростатичне зображення об'єкта, що просвічується.

Після цього на поверхню пластини напиляють наелектризований порошок, який виявляє зображення. За необхідністю зображення фотографують або переносять на липкий папір. В останньому випадку використовують порошок із легкоплавкої смоли, яка приклеюється до паперу.

Якщо немає необхідності зберігати це зображення, тоді порошок видаляють із поверхні після візуального огляду, а пластину використовують знову.

Ксерографічну пластину виготовляють із алюмінієвої підкладки 1 (рис.4.82) і наносять на її поверхню шар фотопровідникового матеріалу 2.

Як фотопровідний матеріал використовують аморфний селен, який наносять на пластину шаром 50...200 мкм. Щоб пластина стала чутливішою до іонізованого випромінювання, поверхні селенового шару надають електричний заряд. Ксерографічну пластину заряджають у полі коронного розряду до потенціалу 10...12 кВ. Заряд пластини в

Використовують чорно-білу і кольорову радіографію. Під час використання чорно-білої плівки для одержання хорошого зображення необхідна велика експозиція. Для зменшення часу експозиції використовують підсилювальні екрани або металеву фольгу, які наклеюють на плівку з обох боків.

Кольорова радіографія дає можливість збільшити інформативну здатність рентгівського знімка. Для цього використовують спеціальні кольорові фотоматеріали – радіо-

касеті зберігається декілька годин. Касету, як і рентгенівську, розміщують на деталі 4 і опромінюють разом з деталлю джерелом іонізованого випромінювання 6.

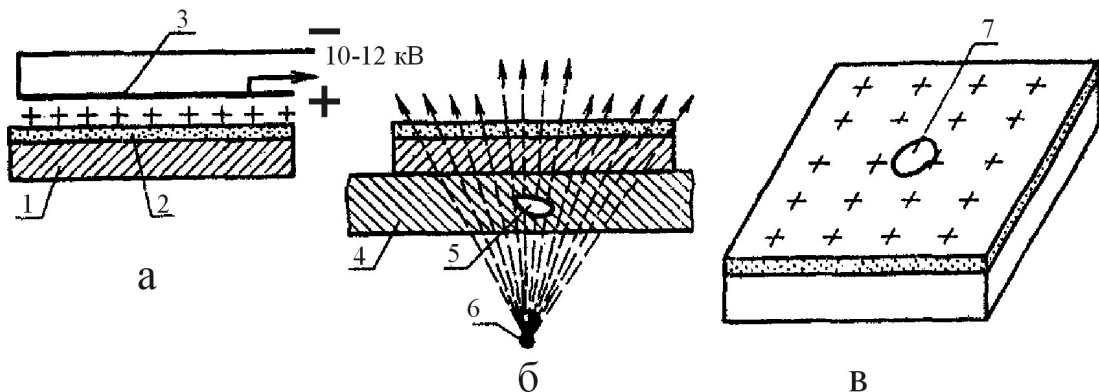


Рис.4.82. Ксерографічний метод реєстрації результатів радіаційного контролю: а – зарядження ксерографічної пластини; б – загальна схема просвічування; в – виявлення прихованого зображення; 1 – алюмінієва підкладка; 2 – шар аморфного селену; 3 – електрод для зарядження напівпровідника; 4 – виріб; 5 – дефект; 6 – джерело випромінювання; 7 – зображення дефекта, яке виявлене порошком

Під дією рентгенівського або  $\gamma$ -випромінювання селеновий шар зарядженої пластини стає провідником і поверхневий заряд перетікає через шар селену на підкладку.

Ступінь розряджування пластини залежить від дози випромінювання, яка на неї попадає. Під час просвічування деталі на поверхні селенового шару утворюється приховане електростатичне зображення, яке уявляє собою картину розподілу на ній зарядів. Приховане зображення виявляють наелектризованим порошком, який заряджений електрикою протилежного знаку. Дефект 5 стає видимим його зображенням 7.

За допомогою радіографії контролюють виливки, зварові і паяні з'єднання. Довжину контрольованої ділянки визначають такою, щоб дефекти виявлялись без суттєвого спотворення. На знімках дефекти мають вигляд більш темних або світлих полос чи плям. Наприклад, більш темні лінії або плями, які розташовані уздовж і посередині шва свідчать про наявність непровару; хвилясті лінії поперек шва або вздовж його – великі тріщини.

Контроль виливків радіним методом дає можливість виявити на знімках або ксерографічних пластинках поруватість, раковини, тріщини, неметалеві краплини і ліквати.

**Радіоскопічний метод** – заснований на перетворенні радіаційного зображення контрольованого об'єкта в світлове на

вихідному екрані радіаційно-оптичного перетворювача, причому аналіз одержаного зображення здійснюють у процесі контролю.

Для одержання достовірної і чіткої інформації, підвищення чутливості і розширення діапазону товщин, використовують такі перетворювачі зображення: флюороскопічний екран, рентгенівський електронно-оптичний перетворювач, електронно-оптичний підсилювач яскравості зображення, установки з використанням телевізійних систем – рентгено-відиконів (передавальних телевізійних трубок з фотокатодом, чутливим до рентгенівського випромінювання) і такі, що передають зображення з флюороскопічних екранів.

На рис.4.83 наведена принципова схема електронно-оптичного перетворювача, який використовують частіше інших. Основними складовими такого приладу є флюороскопічний екран 6 (перетворювач радіаційного зображення в електронне), і фотокатод 7 (перетворювач оптичного зображення в електронне). Напівпрозорий сурм'яно-цезієвий фотокатод під дією світіння люмінофора, яке спричиняється рентгенівським випромінюванням, випромінює електрони в кількості, пропорційній інтенсивності світла.

Електрони, які прискорені по енергії в  $10^4$  раз (різниця потенціалів 25 кВ, див. рис.4.83), фокусуються на вихідних екранах 8 і 9, де за допомогою люмінофора електронне зображення перетворюється в оптичне.

Підсилювання яскравості зображення досягається, з одного боку, підвищенням світлового потоку на вихідному екрані приблизно в 100 разів завдяки прискореній напрузі і, з другого боку, збільшенням світності вихідного екрана приблизно в 16 разів внаслідок зменшення електронно-оптичного зображення в 4 рази. Зображення на вихідному екрані розглядається за допомогою оптики 10 або передається за допомогою передавальної камери 11 на екран телевізора 14.

У промисловості радіоскопічний метод широкого розповсюдження не знайшов.

Це пояснюється тим, що під час спостереження за зображенням на флюоресцентному екрані, оператор повинен бути надійно захищеним від випромінювання, що виконати дуже складно. Крім того, низька яскравість зображення потребує затемнення приміщення, а для повної адаптації очей оператора до таких умов для ефективного контролю йому необхідно знаходитися в темному приміщенні 30...40 хв.

У той же час радіоскопія дає можливість здійснювати безперервний контроль виробів, які рухаються, а тому продуктивність методу досить висока.

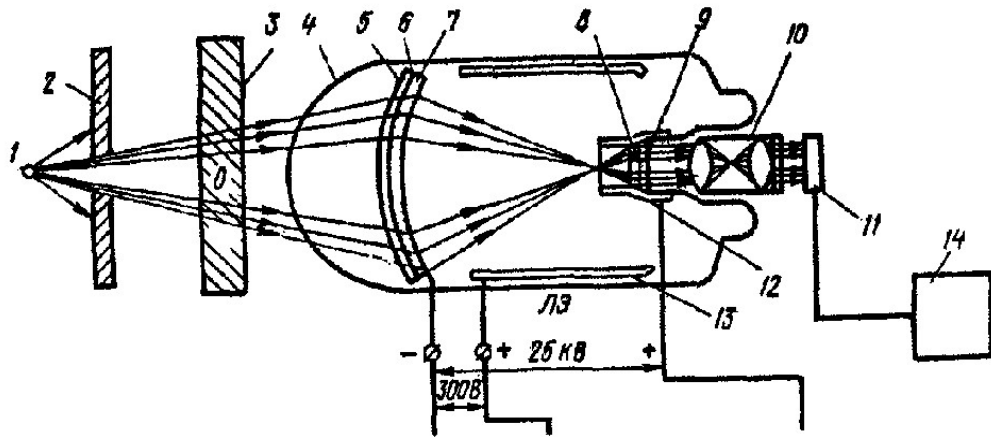


Рис.4.83. Схема електронно-оптичного перетворювача: 1 – джерело випромінювання; 2 – свинцева діафрагма; 3 – контрольований (просвічуваний) об’єкт; 4 – скляна вакуумна колба; 5 – алюмінієва підкладка; 6 – флюороскопічний екран; 7 – фотокатод; 8, 9 – вихідні екрани; 10 – оптика; 11 – передавальна телекамера; 12 – анод; 13 – металізоване покриття; 14 – екран телевізора

Під час використання радіоскопічного методу доцільно застосувати дистанційне спостереження за зображенням за допомогою звичайних телевізійних установок. При цьому підвищується яскравість зображення і є можливість здійснювати відеозапис.

**Радіометричний метод контролю** – заснований на вимірюванні одного або декількох параметрів іонізованого випромінювання після його дії з контрольованим об’єктом.

Інформація щодо іонізованого випромінювання може бути одержана в цифровому, стрілочному або аналоговому вигляді. Приймачем випромінювання слугує радіометричний детектор.

Досліджуваний виріб перевіряють, переміщуючи його між джерелом випромінювання і приймачем прониклих променів.

За виміряною інтенсивністю випромінювання роблять висновок щодо наявності дефектів і їх розмірів.

Реєстрацію результатів просвічування здійснюють з використанням іонізаційних камер, газорозрядних або стинтиляційних лічильників.

**Іонізаційна камера** – це прилад, який складається із двох ізолюваних один від одного електродів А і Б, між якими знаходиться повітря або інертний газ (рис.4.84).

Одним із електродів є корпус приладу. До електродів від джерела постійного струму 5 подається напруга, але струм не проходить між електродами, оскільки між ними немає контакту. Якщо прилад розта-

шувати в поле дії іонізованого випромінювання, то атоми газу усередині камери іонізуються, виникають вільні електрони і іони, які переміщуються: електрони до електрода з позитивним зарядом, а іони – до електрода з негативним зарядом.

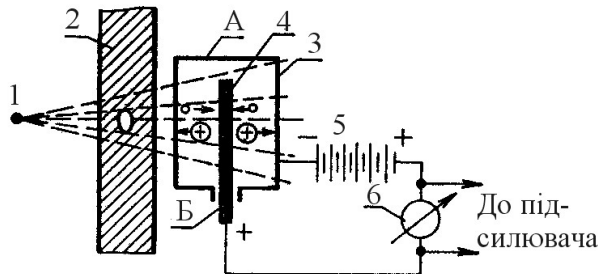


Рис.4.84. Схема реєстрації прониклого випромінювання за допомогою іонізаційної камери: 1 – джерело випромінювання; 2 – контрольований виріб; 3 – зовнішній електрод (корпус камери); 4 – внутрішній електрод; 5 – джерело живлення; 6 – реєстраційний пристрій

В електричному колі виникає іонізаційний електричний струм, який можна виміряти. Із збільшенням інтенсивності іонізованого випромінювання зростає і струм насичення.

Газорозрядний лічильник уявляє собою запаяну скляну або металеву колбу з двома електродами. Колба насичена повітрям або газами під певним тиском. На електроди подається напруга до 1000 В і більше.

Електрони, „вибиті” рентгенівським або  $\gamma$ -променями із матеріалу зовнішнього електрода або із стінок колби, при відповідній напрузі будуть мати енергію, достатню для того, щоб, в свою чергу, спричинити іонізацію атомів газу усередині лічильника. У лічильнику утворюється лавина електронів, що рівносильно „газовому підсиленню”. Чутливість вимірювання інтенсивності випромінювання в цьому випадку суттєво підвищується.

Необхідно відзначити, що чутливість цих приладів під час реєстрації інтенсивності випромінювання дещо менша, ніж рентгенівських плівок, тому не всі дефекти можуть бути ними виявлені.

Прилади радіометричної дефектоскопії використовують для безперервного вимірювання товщин стінок труб і прокатних листів на автоматичних лініях.

**Особливості контролю виливків радіаційною дефектоскопією.** Технологічний процес просвічування литих деталей складається із таких операцій:

– **підготовки виливків до контролю:** перед просвічуванням литу деталь необхідно ретельно оглянути та за необхідністю очистити одним із способів, які використовують у ливарному цеху. Елементи ливникової системи повинні бути відокремлені від виливка, заливи зачищені, а каркаси стрижнів – видалені.

Поверхневі дефекти повинні бути усунені, оскільки їх зображення на знімку може затемнити внутрішні дефекти. Якщо виливок великий, його розділяють на окремі ділянки, які маркують відповідно до

схеми просвічування. Плівку маркують свинцевими цифрами, які накладають на неї;

– **вибір положення вилівка для просвічування:** поширеними дефектами у вилівках є газові та піщані раковини, усадкові поруватість та раковини, гарячі і холодні тріщини, неметалеві вкраплини різного походження тощо. Усадкові поруватість і раковини утворюються, переважно, в масивних частинах вилівка; тріщини – у місцях різкої зміни товщини стінки вилівка; газові і піщані раковини – у верхніх шарах стінки вилівка, а неметалеві вкраплини – в усьому вилівку. Виходячи з цього, необхідно правильно вибрати положення вилівка для просвічування залежно від передбачуваних дефектів. Теплові вузли у вилівках необхідно просвічувати під кутом  $45^\circ$  (рис.4.85, а), а Т- і Х-подібні перехрещування – в двох перпендикулярних напрямках (рис.4.85, б, в).

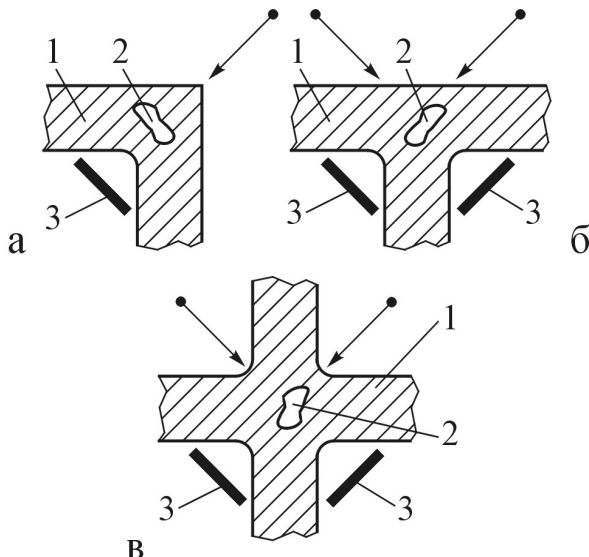


Рис.4.85. Схеми просвічування теплових вузлів у вилівках: а – кутових; б – Т-подібних; в – Х-подібних; 1 – вилівок; 2 – дефект; 3 – плівка

Циліндричні вилівки або їх частини за необхідністю просвічують ділянками з середини (рис.4.86, а) і ззовні (рис.4.86, б), а малого діаметра вироби просвічують через дві стінки (рис.4.86, в).

Для підвищення продуктивності радіаційного контролю литих труб джерело випромінювання розташовують усередині виробу, а пристрої для реєстрації прониклого випромінювання - ззовні по периметру (рис.4.86, г), тобто здійснюють панорамне просвічування.

Фланці вилівок, як особливо відповідальні їх частини, просвічують здебільшого панорамно (рис.4.87). Для виявлення можливих тріщин фланці додатково просвічують у перпендикулярному напрямку (див. рис.4.87) або під кутом  $45^\circ$  до площини фланця. Вилівки з плоскопаралельними стінками просвічують одночасно декількома джерелами випромінювання або змінюють положення вилівка по відношенню до джерела випромінювання декілька разів (рис.4.88), тобто використовують декілька експозицій.

– **використання компенсаторів:** під час контролю вилівок, які мають складну геометрію або різкі переходи від однієї товщини стін-

ки до іншої, одержати якісний знімок практично неможливо, оскільки ділянки плівки, які знаходились під товстими стінками, будуть недотриманими, а під тонкими - перетриманими. У таких випадках виливки необхідно розділяти на декілька ділянок і просвічувати окремо кожну із них при різних режимах, що непродуктивно.

Для підвищення продуктивності радіаційного контролю виливків використовують компенсатори – пристрої для вирівнювання радіографічного контрасту. Використовують декілька типів компенсаторів залежно від геометрії литої деталі:

1) **тверді компенсатори** (рис.4.89) – використовують для контролю простих виливків (заготовок) у масовому та великосерійному виробництвах. Їх виготовляють із такого ж матеріалу, що і виливки (прокат), які контролюють крім того їм надають таку форму, щоб після накладання на контрольований об'єкт сумарна товщина компенсатора і виробу була однаковою;

2) **насіпні компенсатори** (рис.4.90) – використовують для контролю виливків складної геометрії. Компенсатори готують із металевго порошку або дробу, насипна щільність яких повинна максимально наближатися до щільності металу виливка. У процесі засипання коробка порошком або дробом здійснюють їх віброуцільнення на спеціальному устаткованні;

3) **рідкі компенсатори** (рис.4.91) – у випадках, коли використання порошку, дробу або стружки утруднено (порожнисті виливки з

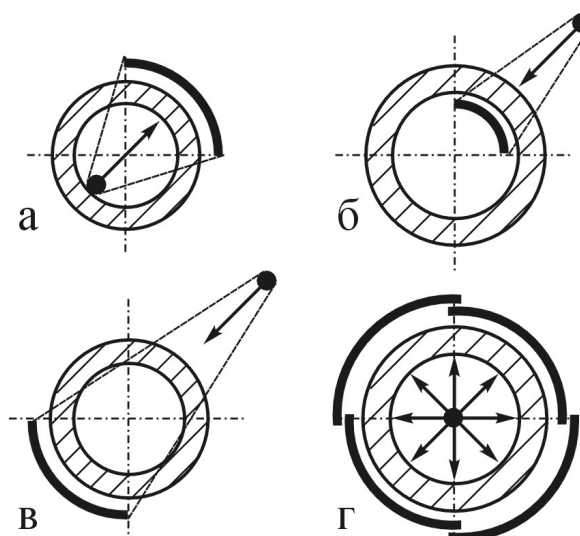


Рис.4.86. Схеми просвічування циліндричних виливків: а – з середини; б – ззовні; в – через дві стінки; г – панорамне

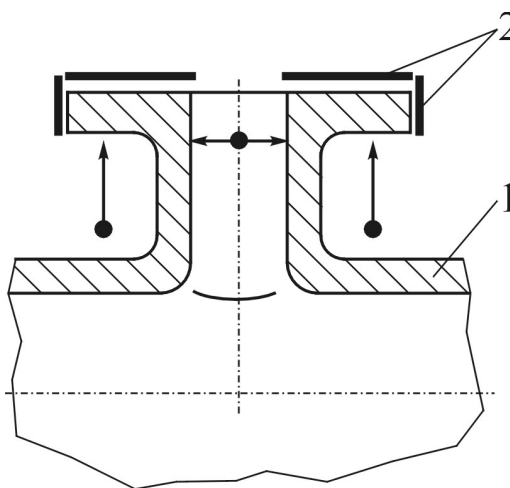


Рис.4.87. Схема просвічування фланців виливків: 1 – виріб; 2 – касета з плівкою



невеликими довгими отворами, вилівки досить складної геометрії тощо) використовують рідкі компенсатори.

Рідину – компенсатор готують із суміші різних речовин так, щоб коефіцієнт послаблення випромінювання в ній був близьким до коефіцієнта послаблення випромінювання матеріалом вилівки. Компенсатор може бути приготовлений із суміші трансформаторної оливи і залізного порошку в певних пропорціях. Вилівок кладуть у посудину і заливають компенсатором;

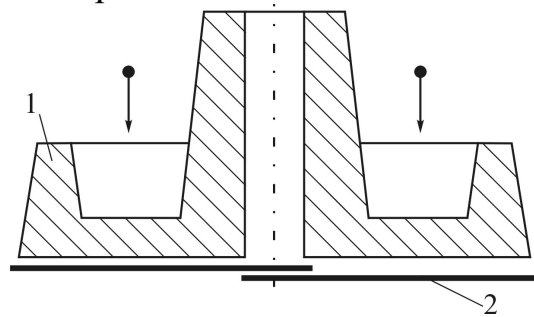


Рис.4.88. Схема просвічування вилівок з плоскопаралельними стінками: 1 – виріб; 2 – касета з плівкою

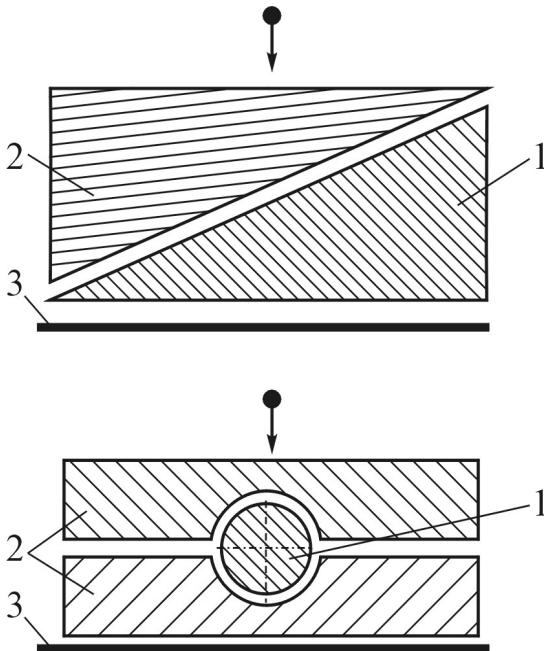


Рис.4.89. Схеми просвічування вилівок з використанням твердих компенсаторів: 1 – вилівок; 2 – компенсатор; 3 – касета з плівкою

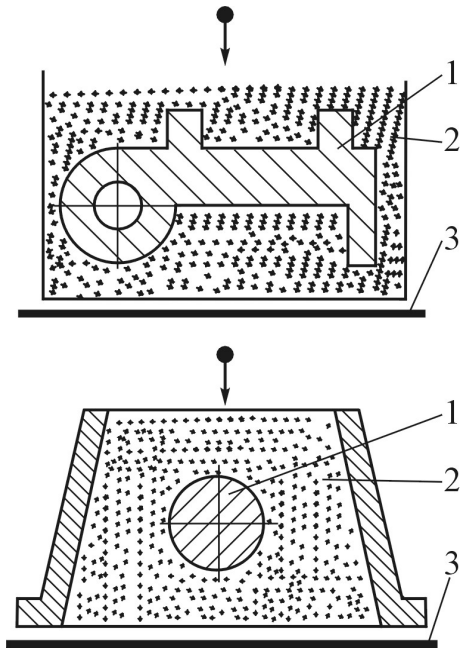


Рис.4.90. Схеми просвічування вилівок з використанням насипних компенсаторів: 1 – вилівок; 2 – залізний порошок (дріб, стружка); 3 – касета з плівкою

4) **пастоподібні компенсатори** (рис.4.92, а) – приготівляють із металевих ошурків або порошку і зв'язувальних компонентів – жирових речовин, виконуючи вимоги щодо коефіцієнта послаблення випромінювання.

Використовують пастоподібні компенсатори під час просвічування вертикальних стінок або „стелі” виробу;

5) **компенсаційні екрани** (рис.4.92, б) – виготовляють із свинцю. Вирівнювальна дія таких екранів полягає в тому, що вони відфільтровують довгохвильове випромінювання і через екран проходить більш однорідне випромінювання, яке суттєво підвищує достовірність одержуваних результатів контролю;

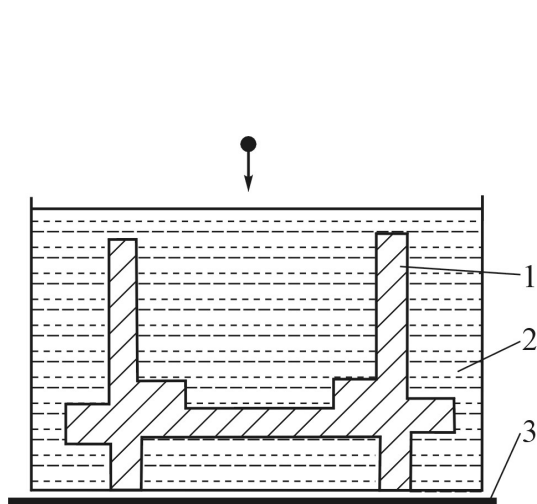


Рис.4.91. Схема просвічування виливків з використанням рідких компенсаторів: 1 – виливок; 2 – рідина – компенсатор; 3 – касета з плівкою

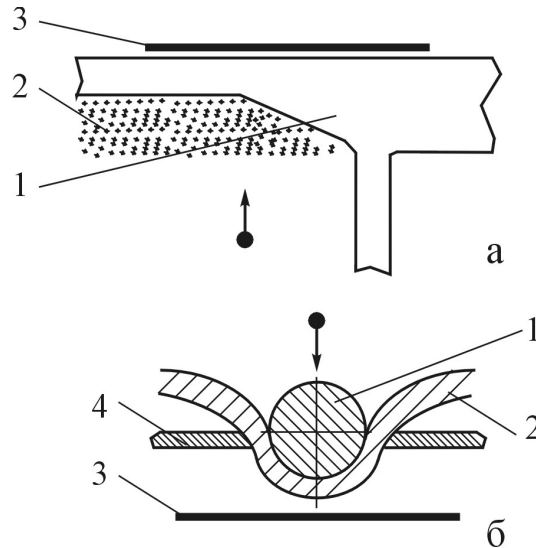


Рис.4.92. Схеми просвічування виливків з використанням пастоподібних компенсаторів (а) і компенсаційних екранів (б): 1 – виливок; 2 – компенсатор; 3 – касета з плівкою; 4 – свинцева „маска”

– **установлення плівки та екранів** – плівку кладуть у касету, виготовлену із чорного світлонепроникного паперу або дерматину. Якщо використовують екрани, тоді плівку кладуть між листами металевої фольги.

Плівку необхідно розміщувати на поверхні виливка. Якщо можливо, то касету закріплюють на поверхні виливка за допомогою клейкої стрічки або магнетних тримачів;

– **вибір режиму просвічування** – експозиція просвічування – це величина, яка характеризує кількість випромінюваної енергії, необхідної для одержання в процесі радіографічного контролю знімка з необхідною оптичною щільністю. Вона дорівнює добутку потужності експозиційної дози просвічування на час просвічування.

На практиці для вибирання експозиції користуються спеціальними номограмами, рис.4.93.

**Оптична щільність плівки** – це величини, рівна десятковому логарифму непрозорості плівки.

**Непрозорість плівки** характеризує послаблення світлового потоку, який проходить через неї, і чисельно дорівнює відношенню світлового потоку, що попадає на плівку, до світлового потоку, який пройшов через неї.

Якщо оптична щільність дуже висока (плівка передержана), то виявити дефекти під час розшифрування утруднено.

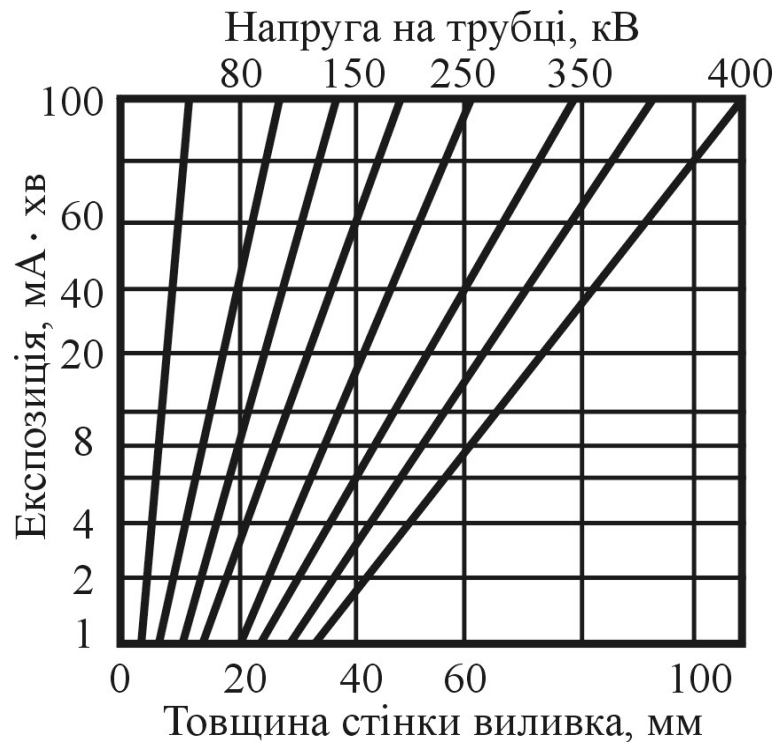


Рис.4.93. Номограма для визначення експозиції просвічування сталевих виливків рентгенівським випромінюванням

Останнім часом для визначення часу експозиції використовують автоматичні експонетри, за допомогою яких задають та вимірюють дозу опромінювання.

Для вибирання діапазону напруги залежно від матеріалу користуються відповідними номограмами, приклади яких наведені на рис.4.94; – **оброблення плівки** – складається з проявлення, проміжного промивання, фіксування, остаточного промивання і сушіння.

Названі операції здійснюють у спеціальних лабораторіях.

Режими проявлення і його тривалість наводять на обгортці плівки;

– **розшифрування результатів** – здійснює досвідчений оператор.

Оскільки радіографічна плівка вмістить власні „шуми”, які спричинені нерівномірним нанесенням емульсії, неякісним проявленням тощо, оператор повинен уміти розпізнавати і відрізняти ці дефекти від справжніх, які можуть бути у виливку.

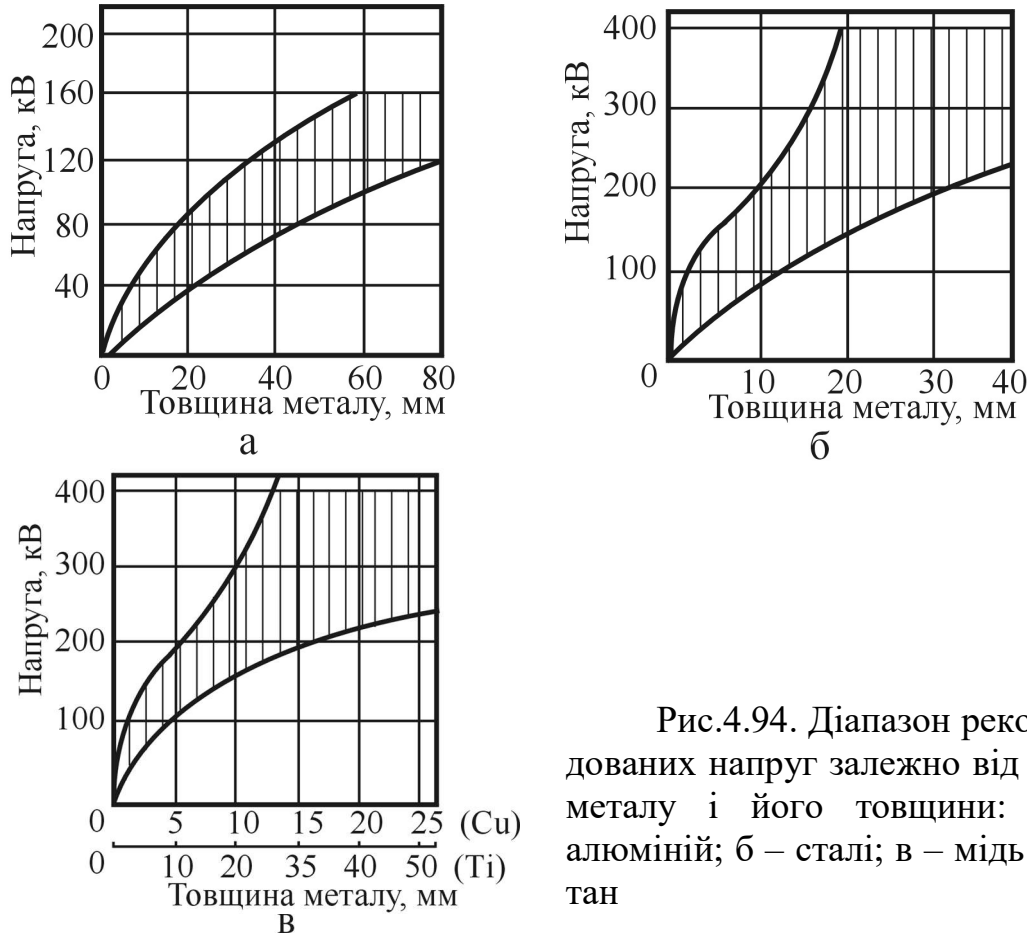


Рис.4.94. Діапазон рекомендованих напруг залежно від роду металу і його товщини: а – алюміній; б – сталі; в – мідь і титан

Глибину залягання дефекту визначають просвічуванням виливка із зміщенням джерела випромінювання (рис.4.95).

У цьому випадку глибину залягання дефекту  $X$  визначають за формулою:

$$X = \frac{F \cdot a}{b + a} - C \quad (4.26)$$

Знімки розшифровують на негатоскопах у прохідному світлі.

Зберігають знімки в неспалюваній шафі, а облік здійснюють у спеціальному журналі.

**Основні вимоги щодо техніки безпеки.** Для лабораторії або контрольної дільниці радіаційної дефектоскопії передбачають окремі приміщення, які повинні задовольняти вимогам основних санітарних

правил, норм радіаційної безпеки, а також санітарних норм проектування, обумовлених відповідними чинними нормативними документами.

Категорично заборонено розташовувати лабораторії радіаційного контролю в підвалах і напівпідвалах.

У місцях, де здійснюють просвічування гама-дефектоскопами, повинен бути передбачений такий стаціонарний захист, щоб протягом 36-годинного тижня потужність дози опромінювання обслуговуючого персоналу, який знаходиться в будь-якій точці приміщення, не перевищувала 2,8 мР/год.

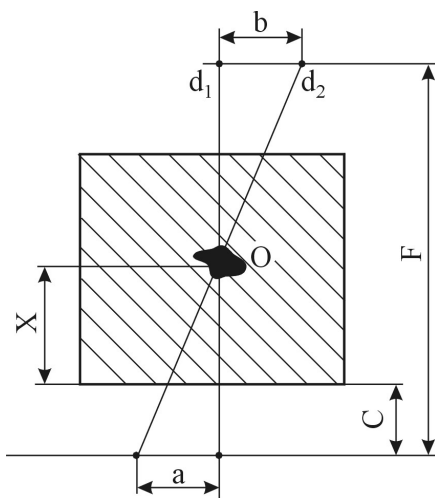


Рис.4.95. Схема просвічування вилівка для визначення глибини залягання дефекту

Захисні пристрої можуть бути стаціонарними (стіни, перекриття, оглядові вікна) і нестаціонарними (екрани, кабінки пересувні, ширми тощо).

Екрани виготовляють із свинцю або із свинцю і заліза.

Для оглядових вікон використовують свинцеве скло.

З метою регулярного перевіряння надійності захисту на робочих місцях і вимірювання індивідуальних доз опромінення проводять дозиметричний контроль.

Усі особи, які працюють з радіаційними джерелами, кожний рік проходять відповідний інструктаж і медичинський огляд.

Установлені припустимі дози накопичення випромінювання за квартал і за рік.

До складу лабораторії радіаційної дефектоскопії входять:

- приміщення для просвічування площею не менше 30 м<sup>2</sup>;
- приміщення для пульта управління площею не менше 6 м<sup>2</sup>;
- фотокімната площею не менше 10 м<sup>2</sup>.

До роботи в лабораторії допускають осіб, які пройшли відповідне навчання, одержали сертифікат або інший документ і мають вік більше 18 років.

#### 4.3.8 Радіохвильові методи контролю

Надвисокочастотні (НВЧ) методи радіохвильового типу використовують для контролю неметалевих матеріалів.

НВЧ методи засновані на взаємодії елетромагнетного поля в діапазоні довжин хвиль від 1 до 100 мм з об'єктом контролю, перетворенні параметрів поля в електричні сигнали і передаванні на реєструвальний прилад.

Провідні (металеві) матеріали непрозорі для радіохвиль, тому найбільш ефективним є використання методів для вивчення структури, однорідності, вологості і товщини таких матеріалів, як гума, пластмаса, капрон тощо.

Під час дослідження металів можливості методів вичерпуються контролем поверхневих шарів, тому розміри дефектів можуть складати лише доли мікрометра.

Проте використання радіохвиль перспективне з двох причин:

– розширення галузі використання діелектричних, напівпровідникових, феритових і композитних матеріалів, контроль яких іншими методами неефективний;

– можливості використання особливостей радіохвиль діапазону НВЧ. До цих особливостей відносять такі:

1) діапазон НВЧ дає можливість одержувати інтервал потужностей генерованих хвиль, що зручно для контролю матеріалів і середовищ різного ступеня прозорості, від дуже тонких до таких, як масивні бетонні фундаменти;

2) хвилі НВЧ легко одержувати у вигляді когерентних поляризованих гармонійних електромагнетних коливань. Це дає можливість забезпечити високу чутливість і точність контролю, використовуючи інтерференційні явища, які виникають під час взаємодії когерентних хвиль з діелектричним шаром;

3) за допомогою НВЧ можна здійснювати безконтактний контроль якості при однобічному розташуванні апаратури по відношенню до об'єкта – спосіб контролю на відбивання;

4) хвилі діапазону НВЧ можна гостро сфокусувати, що дає можливість забезпечувати локальність контролю, мінімальний краєвий ефект, стійкість до перешкод по відношенню до близько розташованих предметів, вилучити вплив температури об'єкта контролю на вимірювальні датчики тощо;

5) інформація щодо внутрішньої структури, дефектів і геометрії вміщується у великій кількості параметрів корисного НВЧ сигналу: амплітуді, фазі, коефіцієнті поляризації, частоті тощо;

6) використання НВЧ забезпечує дуже малу інерційність контролю, що дає можливість спостерігати і аналізувати швидкодіючі процеси;

7) апаратуру діапазону НВЧ можна виконати достатньо компактною і зручною в експлуатації;

8) під час використання резонансних радіохвильових НВЧ методів можна здійснювати багатопараметровий контроль геометрії, складу і структури матеріалу в різних зонах.

За первинним інформативним параметром розрізняють такі НВЧ методи неруйнівного контролю:

- амплітудний;
- фазовий;
- амплітудно-фазовий;
- частотно-фазовий;
- поляризаційний;
- геометричний;
- часовий

**Перші п'ять методів** засновані на реєстрації одного або двох параметрів хвиль, які взаємодіють з контрольованим об'єктом: амплітуди (інтенсивності), модулі коефіцієнта відбиття або проходження; фази, амплітуди і фази, частоти (довжини хвилі) і фази, поляризації.

**Геометричний метод** заснований на реєстрації просторового положення максимуму інтенсивності радіохвильового пучка, який пройшов через об'єкт або відбитого від його протилежної поверхні.

**Часовий метод** заснований на реєстрації часу проходження хвилі (імпульсу) через об'єкт.

Залежно від джерела випромінювання методи розділяють на пасивні і активні.

**Пасивні методи** передбачають власне випромінювання як контрольованих тіл, так і середовищ, розташованих за об'єктом контролю, в НВЧ діапазоні.

**Активні методи** передбачають використання малопотужних джерел НВЧ випромінювання з інтенсивністю до 1 Вт.

За розташуванням датчиків відносно об'єкта контролю розрізняють три основних варіанти: однобічне розташування, двобічне і під прямим кутом оптичних осей (спосіб фіксації параметрів розсіяного випромінювання).

Для ефективного оцінювання якості і надійності виробів і конструкцій необхідно знати фізико-механічні параметри матеріалів, із яких вони виготовлені. Однією із основних фізичних характеристик матеріалу є його щільність. Щільність враховують у розрахунках більшості інших фізичних і механічних характеристик матеріалів,

наприклад, динамічного модуля пружності, коефіцієнтів теплопровідності та відбиття тощо. Крім того, щільність є і важливою технологічною характеристикою матеріалів, особливо композиційних. Від щільності матеріалу залежать кількісний вміст окремих компонентів, поруватість, ступінь кристалізації і тверднення, вміст летких компонентів і неоднорідність.

Оскільки в сучасному виробництві полімерні матеріали інтенсивно замінюють метали, радіохвильові методи контролю мають значну перспективу використання.

#### **4.3.9 Електромагнетні методи контролю (Вихорострумний контроль)**

Електромагнетні методи неруйнівного контролю засновані на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнетного поля з електромагнетним полем вихорових струмів, які виникають в об'єкті контролю під дією зовнішнього поля.

Фізична сутність методу полягає в зміні ступеня взаємодії електромагнетного поля, створюваного вихорострумним перетворювачем, з контрольованим виробом, рис.4.96.

Деталь, яку необхідно проконтролювати, розміщують в електромагнетному полі збуджувальної навитки перетворювача, яка живиться змінним електричним струмом.

Виріб 1 у цьому випадку можна розглядати як короткозамкнену навитку, в якій індуктується струм.

Індуктований струм протікає замкненими коловими лініями (звідси назва – вихоровий струм), а величина його гальмування залежить від фізичних властивостей матеріалу виробу.

Електроопір металу залежить від величини гальмування, а воно, в свою чергу, залежить від атомної структури.

За наявністю в матеріалах внутрішніх дефектів, наприклад, зміна хімічного складу, дислокацій, структури внаслідок порушення режиму термічного оброблення тощо, змінюється електропровідність, а це, в свою чергу, змінює величину збуджених вихорових струмів.

Отже, величина вихорових струмів буде залежати від сили і частоти змінного струму, який живить навитку збуджувального перетворювача, електропровідності, магнетної проникності і форми виробу, взаємного розташування навитки перетворювача і виробу, відстані від навитки до поверхні, що контролюється.

На електропровідність матеріалу виробу, в свою чергу, впливають хімічний склад, ступінь деформації, термічне і хіміко-термічне оброблення, кількість вуглецю і легувальних елементів у сплаві.



Окрім цього, на величину збуджуваних у виробі вихорових струмів впливають порушення суцільності матеріалу і наявність у ньому неметалевих вкраплин, оскільки вони створюють додатковий опір для вихорових струмів.

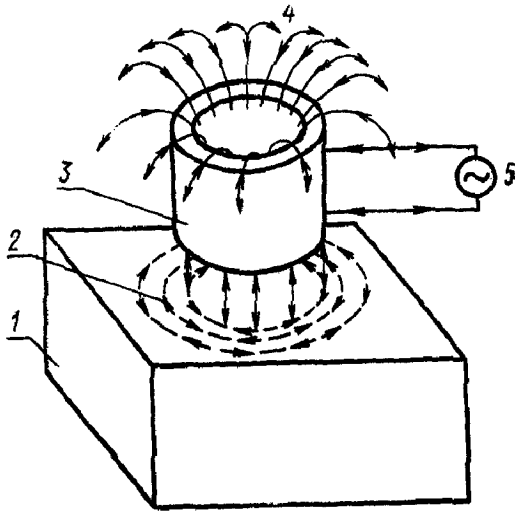


Рис.4.96. Схема, яка пояснює сутність електромагнетного контролю: 1 – виріб; 2 – вихорові струми; 3 – збуджувальна навитка; 4 – змінне магнетне поле; 5 – джерело змінного струму

жати від величини і характеру розподілу вихорових струмів у контрольованому виробі.

На рис.4.98 наведені схеми збудження вихорових струмів у виробі без дефектів і з дефектом.

Вихорові струми у виробі без дефекту створюють електромагнетний потік  $\Phi_1$  (див. рис.4.98, а), який більший електромагнетного потоку  $\Phi_2$  (див. рис.4.98, б) вихорових струмів у виробі з дефектом, оскільки через локальне зменшення електропровідності зменшується щільність вихорових струмів.

Підсумковий потік  $\Phi_{П1} = \Phi_B - \Phi_1$  менший, ніж  $\Phi_{П2} = \Phi_B - \Phi_2$ , тому навиткою збудження буде протікати струм  $I_1 < I_2$ .

Під час визначення якості виробу і його матеріалу за усіма параметрами одночасно (електропровідність, магнетна проникність, наявність порушення суцільності матеріалу, геометричні розміри тощо) вимірюванням напруги струму в пошуковій навитці особливих утруднень не виникає.

Значні утруднення виникають, коли необхідно одержати однозначну відповідь щодо змін якого-небудь одного параметра виробу при невизначених змінах інших.

Вихорові струми, наведені у виробі, створюють вторинне змінне електромагнетне поле, напрямком якого за законом Ленця протилежний збуджувальному полю, рис.4.97.

Отже напруженість підсумкового магнетного поля буде дорівнювати різниці напруженостей збуджувального і вторинного магнетних полів.

Електромагнетне поле вихорових струмів, за умови незмінюваної ЕДС у збуджувальній навитці, буде призводити до збільшення її повного опору і, як наслідок, до зменшення сили струму, який протікає збуджувальною навиткою. Отже, повний опір навитки буде залежати від величини і характеру розподілу вихорових струмів у контрольованому виробі.

Для створення можливості вимірювання окремих параметрів необхідно мати більш різноманітну інформацію. Це питання вирішують вимірюванням фази сигналу, підбиранням частоти збуджувального струму, використанням різних форм напруги, величини збуджувального струму тощо.

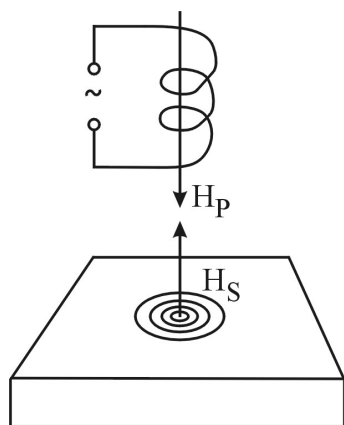


Рис.4.97. Взаємодія збуджувального магнетного поля і поля вихоревих струмів:  $H_p$  – вектор магнетного поля збуджувальної навитки;  $H_s$  – вектор магнетного поля вихоревих струмів

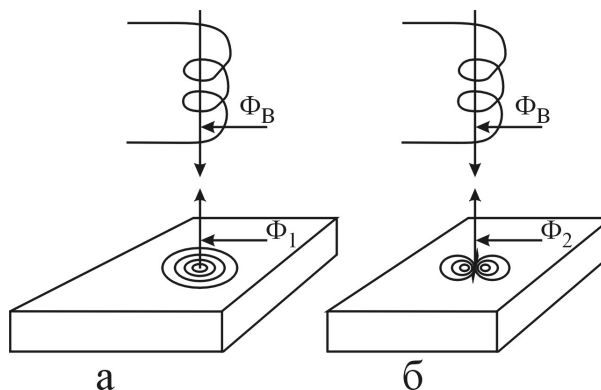


Рис.4.98. Схеми збудження вихоревих струмів у виробі без дефекту (а) і з дефектом (б)

**Глибина проникнення вихоревих струмів.** Електромагнетний метод контролю заснований на використанні поверхневого ефекту. Він полягає в тому, що глибина проникнення електромагнетних полів і збуджених вихоревих струмів, крім інших факторів, залежать від частоти струму в збуджувальній навитці. Під час використання відносно низької частоти електромагнетні поля і вихорові струми проникають глибше, ніж під час використання високої частоти, коли ці параметри розташовуються біля поверхні виробу, в його поверхневих шарах.

Сучасні засоби контролю дають можливість здійснювати достатньо повний аналіз сигналів перетворювача, що визначає методи контролю:

- **амплітудний** – заснований на вимірюванні амплітуди сигналу перетворювача;
- **фазовий** – заснований на вимірюванні фази сигналу перетворювача;

– **амплітудно-фазовий** – заснований на вимірюванні проєкції вектора напруги перетворювача на напрямок налагодженості;

– **частотний** – заснований на вимірюванні частоти сигналу параметричного вихорострумowego перетворювача, увімкненого в коливальний контур автогенератора.

Для проведення ефективного контролю феромагнетного матеріалу необхідно:

– установити залежність між контрольованими параметрами (твердістю, напругою, структурою, хімічним складом тощо) і магнетною проникністю та електропровідністю матеріалу;

– вибрати конструкцію перетворювача залежно від форми, розмірів і умов контролю виробу;

– визначити оптимальну робочу частоту, спосіб зменшення впливу факторів, які перешкоджають ефективному контролю, тип приладу, схему вимірювання і оброблення сигналів, використовуючи відповідні залежності сигналу від проникності, форми, розмірів виробу тощо.

Особливість вихорострумowego контролю полягає в тому, що його можна здійснювати без контакту перетворювача з об'єктом. Їх взаємодія відбувається, переважно, на відстанях, достатніх для вільного руху перетворювача відносно об'єкта (від сотні мікрометрів до декількох міліметрів). Тому цими методами можна контролювати з високою достовірністю результати об'єкти, які швидко рухаються.

Одержання первинної інформації у вигляді електричних сигналів, безконтактність і висока продуктивність визначають широкі можливості автоматизації вихорострумowego контролю.

Однією із позитивних особливостей вихорострумowego методу (VCM) є та, що на сигнали перетворювача практично не впливають волога, тиск, забрудненість газового середовища, радіоактивне випромінювання, забруднення поверхні об'єкта контролю непровідними речовинами.

Простота конструкції перетворювача ще одна перевага VCM. У більшості випадків навитки розташовують в охоронному корпусі і заливають компаундами. Завдяки цьому перетворювачі стійкі до механічних і атмосферних дій, можуть працювати в агресивних середовищах у широкому діапазоні температур і тисків.

Оскільки VCM засновані на збуджуванні вихорових струмів, їх використовують для контролю якості електропровідних об'єктів: металів, сплавів, графіту, напівпровідників тощо.

VCM широко використовують як для дефектоскопії, так і для визначення розмірів і структури матеріалів і виробів.

За допомогою VCM виявляють дефекти типу несучільностей, які виходять на поверхню виробу або розташовані на невеликій глибині (в

електропровідних листах, прутках, трубах, дроті, залізних рейках, дрібних деталях тощо), а також різноманітні тріщини, розшарування, плівки, раковини, неметалеві краплини. За сприятливих умов контролю і малого впливу факторів, які перешкоджають виявленню дефектів, можна знайти тріщини глибиною 0,1...0,2 мм і протяжністю 1...2 мм (при використанні накладного перетворювача) або протяжністю біля 1 мм і глибиною 1...5% діаметра контрольованого дроту або прутка (при використанні прохідного перетворювача).

ВСМ дають можливість успішно вирішувати задачі контролю розмірів виробів. Цими методами вимірюють діаметри дроту, прутків і труб, товщину металевих листів і стінок труб під час одностороннього доступу до об'єкта, товщину електропровідних (наприклад, гальванічних) і діелектричних (наприклад, лакофарбових) покриттів на електропровідних виробах, товщину шарів багатошарових структур, які вмістять електропровідні шари.

Контрольовані товщини можуть змінюватись у межах від мікрометрів до десятків міліметрів.

Для більшості приладів похибка вимірювання складає 2...5%. Мінімальна площа зони контролю може бути до 1 мм<sup>2</sup>, що дає можливість виміряти товщину покриття на малих об'єктах складної конфігурації. За допомогою ВСМ вимірюють зазори, переміщення і вібрації в машинах і механізмах.

Як уже відзначалось, структурний стан металів і сплавів впливає на їх магнетні і електричні характеристики.

Завдяки цьому можна контролювати не тільки однорідність хімічного складу, але і структуру металів і сплавів, а також визначати механічні напружини.

Використовують вихорострумові вимірювачі питомої електричної провідності і для сортування металевих матеріалів за марками (за хімічним складом).

За допомогою вихорострумових приладів контролюють якість термічного і хіміко-термічного оброблення деталей, стан поверхневих шарів після механічного оброблення (шліфування, наклепування), виявляють залишкові механічні напружини, утомні тріщини в металах на ранніх стадіях їх розвивання, наявність різних структурних фаз тощо.

Інформація, яку одержують від контрольованого виробу, залежить від схеми контролю і конструкції вихорострумового перетворювача.

Залежно від робочого положення навиток відносно об'єкта контролю розрізняють накладні, прохідні і комбіновані вихорострумові перетворювачі.

**Накладні ВСП** уявляють собою одну або декілька навиток, до торців яких підводять поверхню об'єкта. Навитки таких перетворювачів можуть бути круглими, коаксиальними, прямокутними, прямокутними хрестоподібними з взаємно перпендикулярними осями тощо.

Накладні перетворювачі виготовляють з феромагнетними осердниками або без них.

Завдяки феромагнетному осерднику (переважно феритовому) суттєво підвищується абсолютна чутливість перетворювача внаслідок локалізації магнетного потоку.

На рис.4.99 наведені деякі конструкції перетворювачів без осердників, а на рис.4.100 – з осердниками.

Використовують такі ВСП для контролю товщини покриттів, визначення фізичних властивостей матеріалу тощо.

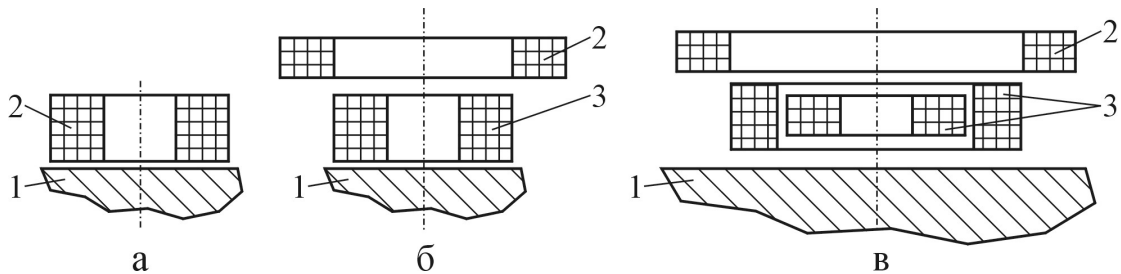


Рис.4.99. Накладні перетворювачі без осердника: а – у вигляді однієї навитки; б – у вигляді двох навиток; в – у вигляді трьох навиток; 1 – виріб; 2 – збуджувальна навитка; 3 – вимірювальна навитка

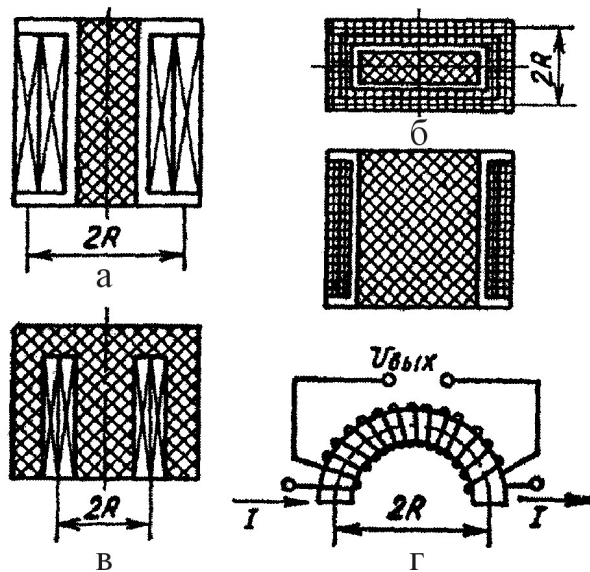


Рис.4.100. Накладні перетворювачі з осердниками: а – з циліндричним осердником; б – з прямокутним осердником; в – з осердником півброневого типу; г – з осердником у вигляді півтороїда;  $2R$  – еквівалентний геометричний параметр перетворювача

**Прохідні ВСП** розділяють на зовнішні і внутрішні, рис.4.101.

Зовнішній перетворювач під час контролю розташовують з зовнішнього боку виробу, (рис.4.101, а, б), тобто він охоплює об'єкт, а внутрішній – усередині виробу (рис.4.101, в, г).

Прохідні внутрішні ВСП використовують для контролю труб або порожнистих виливків, а зовнішні – прутків, малогабаритних виливків тощо.

Прохідні ВСП мають однорідне магнетне поле у зоні контролю, внаслідок чого радіальне зміщення однорідного об'єкта контролю не впливає на вихідний сигнал перетворювача. Довжина вимірювальної навитки, розташованої усередині збуджувальної, повинна бути значно меншою за останню.

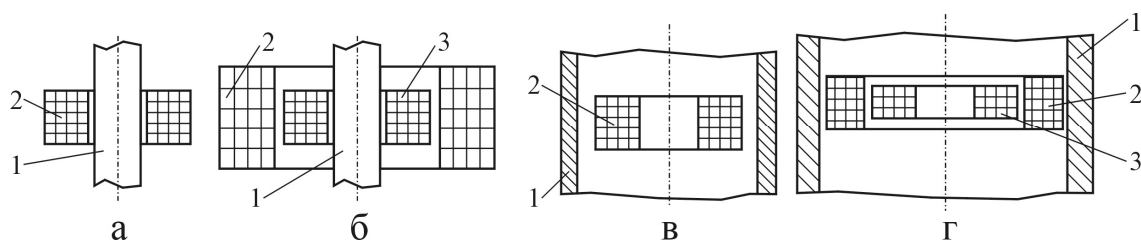


Рис.4.101. Прохідні перетворювачі: а, б – зовнішні; в, г – внутрішні: 1 – виріб; 2 – збуджувальна навитка; 3 – вимірювальна навитка

**Комбіновані ВСП** уявляють собою комбінацію накладних і прохідних перетворювачів, рис.4.102.

Для виявлення несущільностей матеріалу дефекти за їх дією на вихорові струми розділяють на чотири групи. У кожному випадку характер дефекту визначає методику проведення контролю і тип використовуваного перетворювача (накладного або прохідного):

- розподілені дефекти, розміри яких невеликі, наприклад, скупчення пор, неметалевих вкраплин, осередки корозії, розтріскування матеріалу у вигляді сітки;

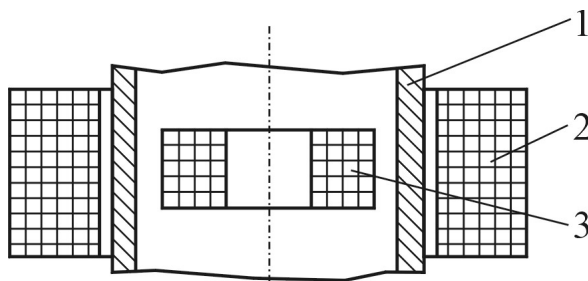


Рис.4.102. Комбінований перетворювач: 1 – виріб; 2 – збуджувальна навитка; 3 – вимірювальна навитка

- дефекти у вигляді великих порожнин (газові і усадкові раковини) і вкраплини. У відносно великому об'ємі, який займає дефект, вихорові струми не протікають;

- дефекти, які розташовані в площині, паралельній поверхні виробу, наприклад розшарування;

– тонкі витягнені дефекти типу тріщин. У цьому випадку під час контролю накладним перетворювачем вихорові струми утворюють додаткове магнетне поле дефекту, що обумовлює збільшення сигналу перетворювача.

Необхідно відзначити, що використання контрольних зразків під час електромагнетного контролю обов'язкове. З їх допомогою перевіряють стабільність налагоди приладу на початку і в кінці роботи.

Режим роботи перетворювача вибирають за такою технологією: в перетворювачі розміщують два однакових контрольних зразки без дефектів і компенсаторами досягають мінімального відхилення кривої на екрані від прямої лінії. Потім замість одного контрольного зразка розміщують декілька контрольованих виробів без дефектів, але з допустимими за технічними умовами відхиленнями і записують криві перешкод. Розмістивши в перетворювачі виріб (контрольний зразок) з мінімальним дефектом, записують криву, яка відповідає наявності дефекту. Контрольний зразок в ідеальному випадку буде уявляти собою виріб, в якому в кожній контрольованій зоні є дефект, наближений за своїми розмірами до мінімальних дефектів, які необхідно виявити. Контрольний зразок вибирають із групи виробів, забракованих іншими методами контролю. Мінімальні дефекти можна імітувати також надрізами, пропилами, просвердлинами тощо.

**Структурні схеми приладів і конструкції перетворювачів.** Структурну схему приладу для вихорострумовеого контролю і конструкції ВСП визначають призначенням приладу і способом видавання інформації щодо контрольованих параметрів об'єкта.

**Конструкції накладних ВСП.** Накладні ВСП призначені для ручного контролю, тому вони мають корпус, зручний для роботи оператора. На рис.4.103 наведені два варіанти конструкції таких ВСП.

У першій конструкції (рис.4.103, а) навитки 1, які охоплюють феритовий осердник 2, за допомогою керамічної втулки 3 жорстко закріплені в корпусі 4. Керамічна втулка 3 слугує також для захисту торця навиток від механічних ушкоджень.

Для більш чіткої фіксації зазора між навитками ВСП і об'єктом контролю в другій конструкції (рис.4.103, б) використовують підпружинену оправку 5, яку оператор переміщує вздовж корпусу 4 до дотикування з поверхнею об'єкта, стискаючи пружину на певну довжину.

На рис.4.104 наведені конструкції ВСП з феромагнетними осердниками, електропровідними екранами і короткозамкненими навитками для локалізації зони контролю.

Конструкції ВСП (рис.4.104, а, б) призначені для безперервних вимірювань зазорів і тому жорстко закріплені в гніздах; конструкція ВСП (рис.4.104, в) призначена для ручного контролю. Феритові осердники 1 мають зазори 2, в які встановлена мідна вставка 3 (див.

рис.4.104, а) для локалізації магнетного поля в зоні контролю. Замість зазора з вставкою може бути використаний короткозамкнений виток 4 (див. рис.4.104, б). Навитка 5 параметричного ВСП охоплює осердник так само, як і збуджувальна 6 та вимірювальна 7 навитки трансформаторного ВСП (рис.4.104, в).

Для захисту від впливу зовнішніх магнетних полів використовують спеціальні екрани 8, які одночасно слугують елементами корпусу. Навитки з осердником заливають компаундом 9.

**Конструкції прохідних ВСП.** На рис.4.105 наведений прохідний диференціальний ВСП для дефектоскопії дроту діаметром 0,3...1,0 мм.

На каркасі 1 у вигляді трубки із кварцового скла намотана довга збуджувальна навитка 2. Каркас з навиткою розміщений у діелектричній втулці 3, в якій є пази для двох коротких вимірювальних навиток 4, включених назустріч.

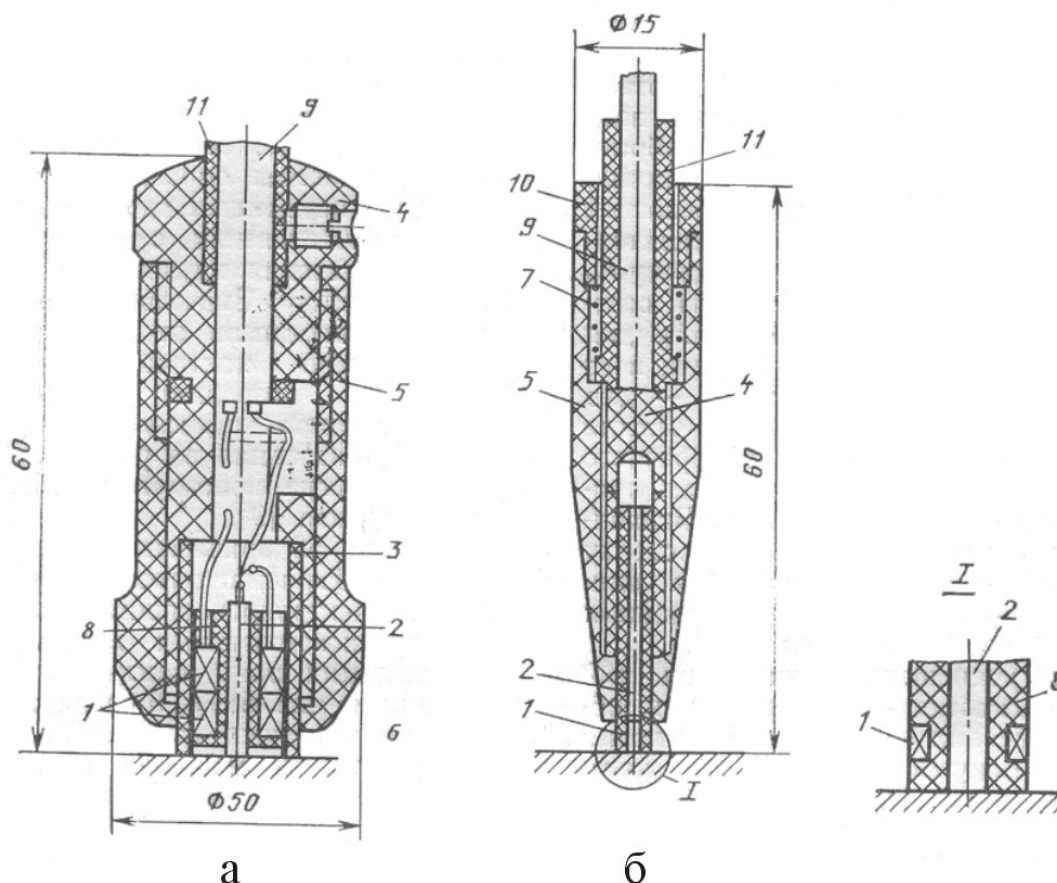


Рис.4.103. Конструкції накладних вихорострумів перетворювачів: а – з жорстким кріпленням навиток; б – з підпружиненою оправкою; 1 – навитки; 2 – феритовий осердник; 3 – керамічна втулка;



4 – корпус; 5 – оправка; 6 – пермалоевий екран; 7 – пружина; 8 – каркас навитки; 9 – кабель; 10 – кришка; 11 – гумова втулка

Каркас з навитками розташований у латунному корпусі 5 і залитий компаундом 6.

У торцях каркаса установлені керамічні втулки 7 для попередження механічних пошкоджень.

ВСП працює на частоті 1 МГц.

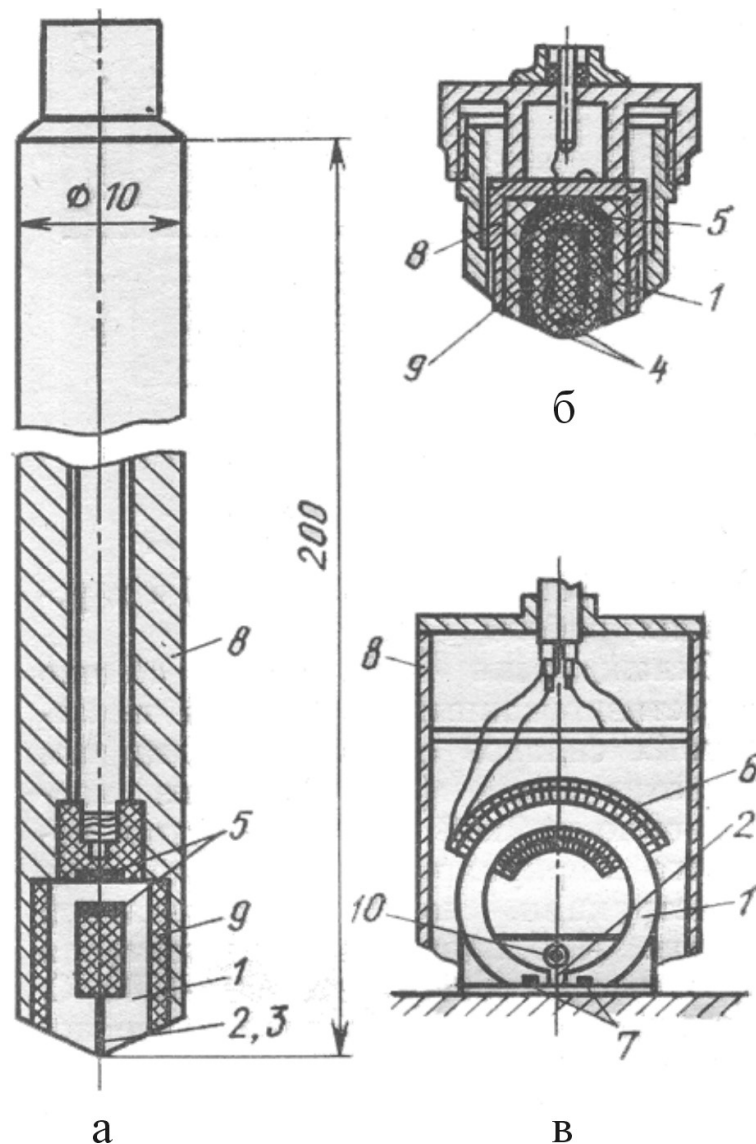


Рис.4.104. Конструкції накладних вихорострумових перетворювачів з локальною зоною контролю: а – з мідною вставкою в зазорі; б – з короткозамкненим витком; в – диференціального типу;

1 – феритовий осердник; 2 – зазор; 3 – мідна вставка; 4 – короткозамкнений виток; 5 – навитка; 6 – збуджувальна навитка; 7 – вимірювальна навитка; 8 – екрани; 9 – компаунд; 10 – шарнірне кріплення

На рис.4.106, 4.107 і 4.108 наведені інші конструкції вихорострумів перетворювачів.

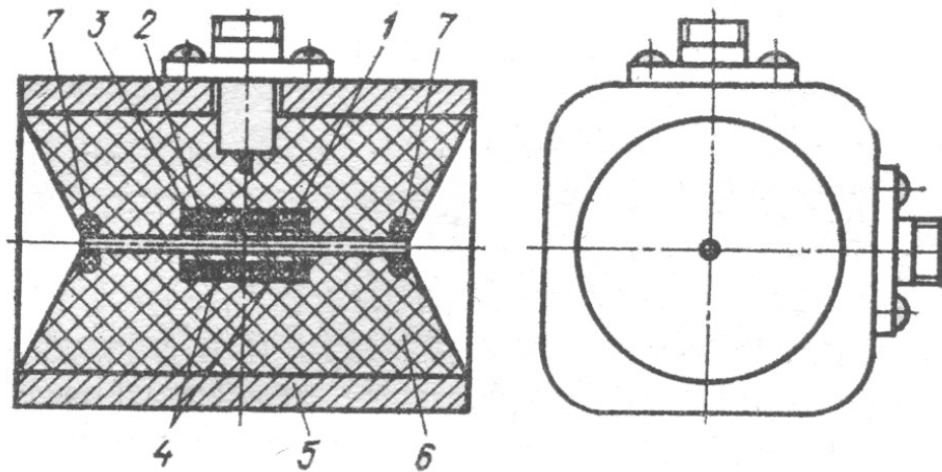


Рис.4.105. Конструкція проходного диференціального вихорострумівого перетворювача для контролю дроту: 1 – каркас; 2 – збуджувальна навитка; 3 – втулка; 4 – вимірювальні навитки; 5 – латунний корпус; 6 – компаунд; 7 – керамічна втулка

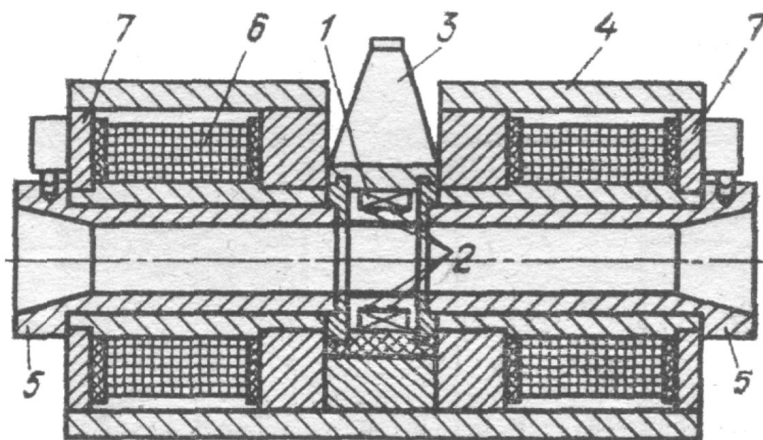


Рис.4.106. Прохідний вихорострумний перетворювач із змінними навитками: 1 – збуджувальна навитка; 2 – вимірювальні навитки; 3 – блок; 4 – корпус; 5 – змінні вставки; 6 – навитка; 7 – кришки

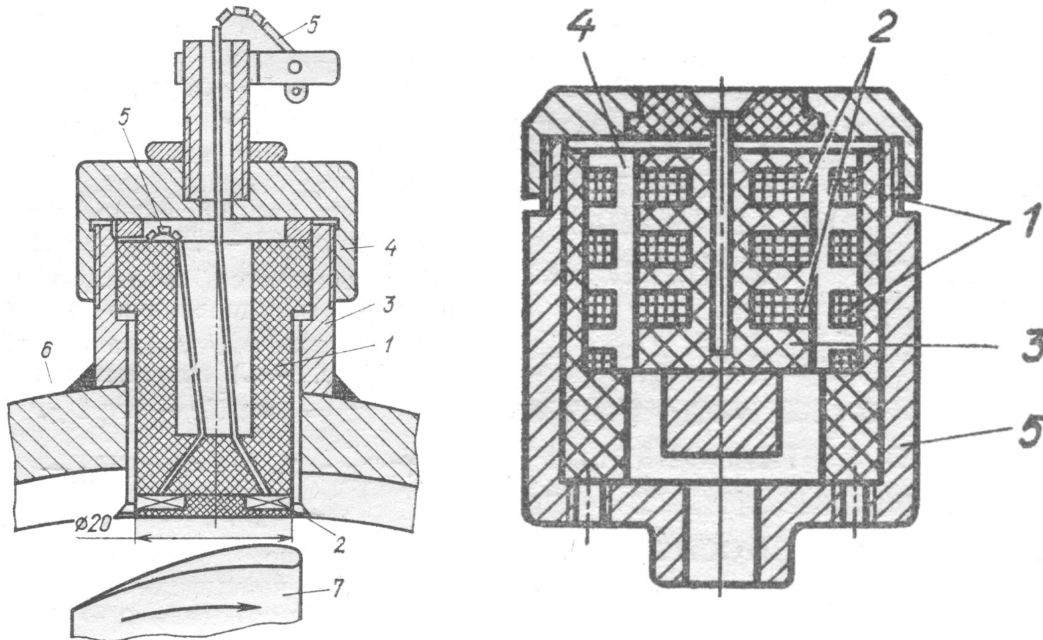


Рис. 4.107. Конструкція неохолоджуваного високотемпературного ВСП для вимірювання робочих зазорів у газотурбінних двигунах: 1 – каркас; 2 – навитка; 3 – корпус; 4 – кришка; 5 – виводи; 6 – статор; 7 – лопатка

Рис.4.108. Прохідний ВСП для контролю якості термічного оброблення швацьких головок: 1 – збуджувальна навитка; 2 – вимірювальна навитка; 3, 4 – каркаси; 5 – корпус

### 4.3.10 Електричні методи контролю

Електричні методи контролю засновані на створенні в контрольованому об'єкті електричного поля або безпосередньою дією на нього електричним збуренням (наприклад, електростатичним полем, полем постійного або змінного стаціонарного струму), а також непрямою дією збурення неелектричної природи (тепловим, механічним тощо).

Як первинний інформативний параметр використовують електричні характеристики об'єкта контролю.

Залежно від способу одержання первинної інформації використовують електроємкісний, електропараметричний, електропотенціальний, електромагнетний, термоелектричний, електроіскровий, електростатичний та інші методи.

**Електроємкісний метод контролю (ЕМК)** передбачає розташування об'єкта контролю або його досліджуваної частини в електростатичному полі і визначення шуканих характеристик матеріалу за спричиненою ним зворотньою реакцією на джерело цього поля. Як джерело поля використовують електричний конденсатор, який є одночасно і первинним електроємкісним перетворювачем (ЕП), оскільки здійснює перетворення фізичних і геометричних характеристик об'єкта контролю в електричний параметр. Зворотня реакція ЕП проявляється як зміна його інтегральних параметрів, частіше двох параметрів, один із яких характеризує ємкісні властивості ЕП, а другий – діелектричні утрати. Ці параметри є первинними інформативними параметрами ЕМК.

**Інформативність ЕМК** визначається залежністю первинних інформативних параметрів ЕП від характеристик об'єкта контролю – безпосередньо від електричних характеристик (діелектрична проникність, коефіцієнт діелектричних утрат тощо) і геометричних розмірів об'єкта контролю.

За допомогою ЕМК можна визначати і інші фізичні характеристики матеріалу: щільність, вміст компонентів у гетерогенних системах, вологість, ступінь полімеризації і старіння, механічні параметри, радіопрозорість тощо. До найбільш інформативних геометричних параметрів об'єкта контролю необхідно віднести товщину пластин (листа), оболонку і діелектричних покриттів на провідних і непровідних матеріалах, поперечні розміри лінійно – простяжних провідних і діелектричних виробів (ниток, стрижнів, стрічок, прутків тощо), локалізацію провідних і діелектричних краплин (рис.4.109).

**Інформативні параметри ЕП** залежать також від його конструкції і електричних характеристик середовища, в якому знаходиться об'єкт контролю. Із рис.4.109 видно, що як первинний інформативний параметр найбільш доцільно використовувати ємкість ЕП і тангенс кута утрат. У той же час для вивчення анізотропних властивостей об'єкта контролю необхідно використовувати діаграму залежності діелектричних параметрів від напрямку вектора напруженості поля, створеного в об'єкті контролю.

За призначенням електроємкісні методи контролю розділяють на три групи:

- вимірювання параметрів складу і структури матеріалів;
- визначення геометричних параметрів об'єкта контролю;
- контроль вологості.

**Вологість** вимірюють за допомогою вологометрів. Виокремлення цього методу в окрему групу можна пояснити, по-перше, найбільш широким використанням ЕМК для контролю вологості, а по-друге, особливостями контролю, які обумовлюються впливом різних видів вологи на властивості матеріалу. Якщо вода входить до складу матеріалу як вільна (гігроскопічна), її відносна діелектрична проникність складає  $\approx 80$ , у той же час для води, абсорбованої у вигляді моносару – тільки 2,5. У випадку електролітичної поляризації діелектрична проникність вологої гетерогенної системи може перевищувати значення проникності самої води.

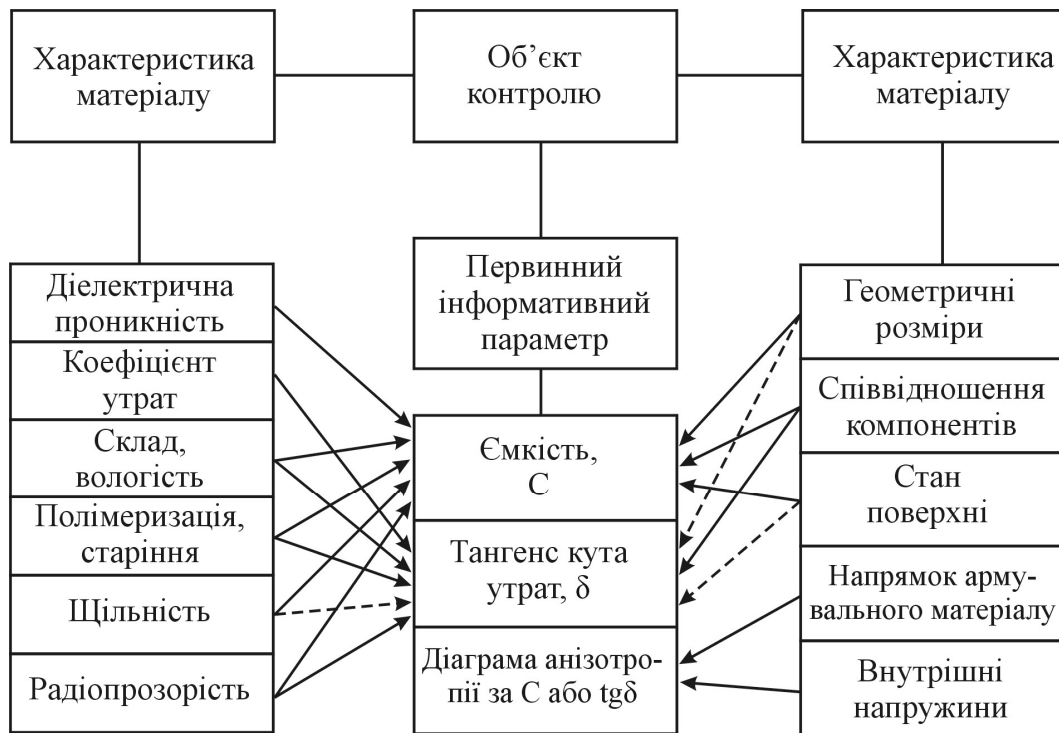


Рис.4.109. Схема дії характеристик об'єкта контролю на електричні параметри електроємкісного перетворювача: суцільні лінії - сильний кореляційний зв'язок між контрольованими і інформативними параметрами; штрихові – слабкі

Використання ЕМК обумовлюють такі основні особливості:

– інформація, яку одержують від об'єкта контролю, багатопараметрична, що, з одного боку, свідчить на користь цього методу, оскільки він дає можливість одержати більш докладні відомості (сукупність відомостей) щодо об'єкта контролю, а з другого – створює додаткові утруднення під час розподілу параметрів контролю: під час вимірювання одного із параметрів на результат контролю справляють вплив інші параметри, які є перешкоджальними факторами;

- можливість проведення безконтактних вимірювань у динамічному режимі, що дуже важливо для автоматизації процесів контролю;
- ЕМК дає можливість одержувати інформацію щодо середніх значень контрольованих параметрів у порівняно великих об'ємах матеріалу або локалізувати поле на певній ділянці виробу і глибині досліджуваного матеріалу.

**Конструкції перетворювачів** – залежать від об'єкта контролю і, в першу чергу, від агрегатного стану досліджуваного середовища (тверде, рідке, газоподібне).

Найбільш складну задачу представляє контроль твердих матеріалів, оскільки рідкі і газоподібні середовища можуть приймати будь-яку форму, а тому конструкції ЕП у цих випадках вибирають на підставі умов забезпечення найвищої точності вимірювання, роздільної здатності методу, його продуктивності, характеру взаємодії середовища з електродами тощо.

У випадках контролю твердих суцільних матеріалів конструкцію ЕП визначають, в першу чергу, умови забезпечення неруйнівного контролю, часто односторонній доступ до поверхні виробу. Для вирішення таких задач використовують накладні ЕП, електроди яких розташовують на одному боці поверхні об'єкта контролю або безпосередньо біля неї.

Деякі конструкції накладних електричних перетворювачів наведені на рис.4.110 і 4.111, при цьому електроди ЕП знаходяться на одній плоскій або криволінійній поверхні.

Накладні ЕП створюють у контрольованому об'єкті неоднорідне електростатичне поле з максимальним значенням напруженості поля (а отже, і з максимальною чутливістю) безпосередньо біля поверхні електродів, яке швидко затухає з віддаленням від електродів. Отже, виходячи з цього, використання накладних ЕП необхідно здійснювати з урахуванням компенсації впливу контактних умов (шорсткості поверхні, її забрудненості тощо).

Контроль дисперсних (сипких) матеріалів дає можливість використовувати велику гаму електричних перетворювачів, оскільки контрольоване середовище може приймати будь-яку форму залежно від конструкції ЕП. Частіше інших використовують ЕП у вигляді порожнистих корпусів, які заповнюють контрольованим середовищем, або у вигляді перетворювача, який занурюють у це середовище. Декілька конструкцій ЕП такого типу наведені на рис.4.112. Контрольованими параметрами в цих випадках є ступінь дисперсності середовища, фізико-механічні параметри частинок (наприклад, їх склад, вологість, щільність тощо), склад полідисперсних середовищ.

Принцип дії приладів для визначення характеристик складу і структури матеріалу заснований на вимірюванні електричних параметрів (діелектричної проникності і коефіцієнта діелектричних утрат).

За електричними характеристиками матеріалу можна визначити вміст компонентів у гетерогенному середовищі, зокрема коефіцієнт армування композиційних матеріалів.

**Електропотенціальні прилади** засновані на безперервному пропусканні струму через виріб або його окрему ділянку і вимірюванні різниці потенціалів або реєстрації спотворення електромагнетного поля, обумовленого обтіканням дефекту струмом.

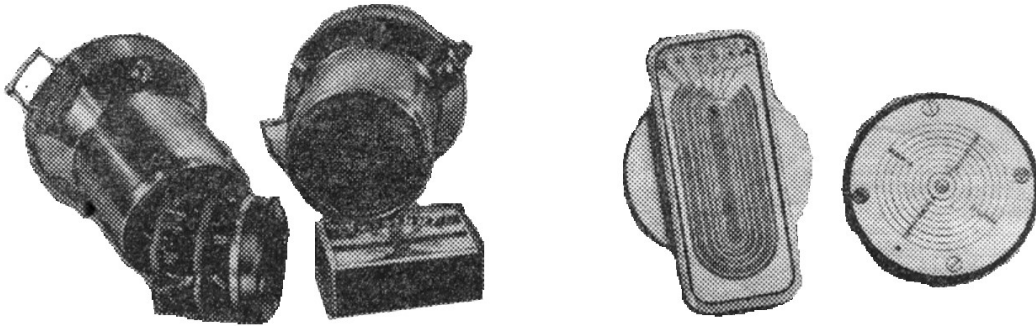


Рис.4.110. Конструкції накладних ЕП для контролю виробів із плоскою поверхнею

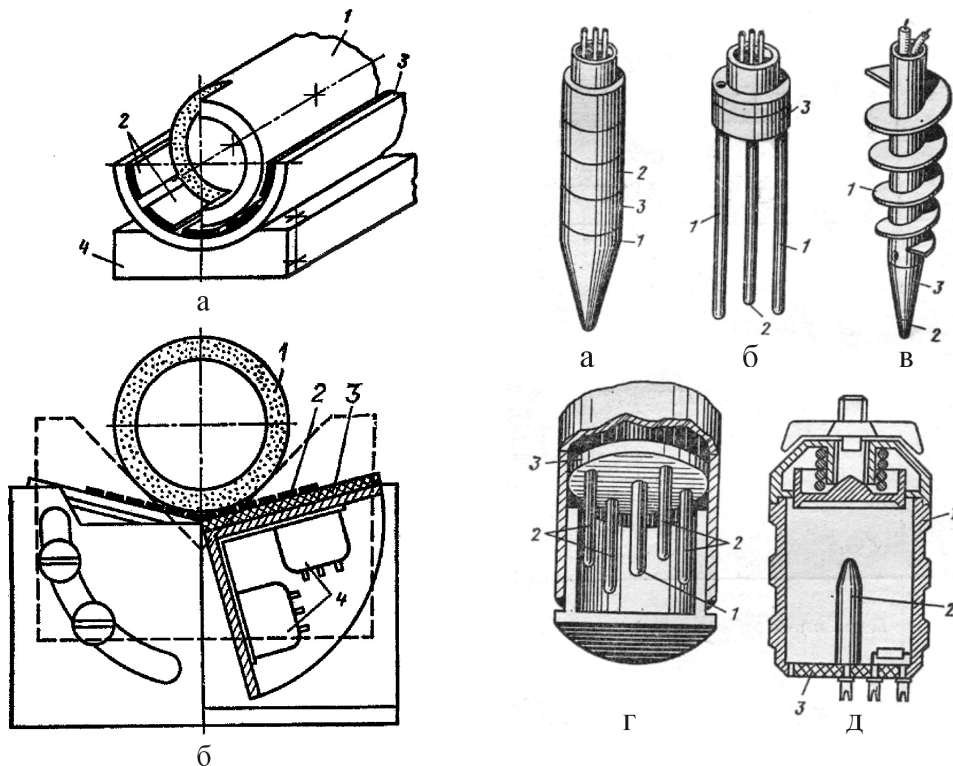


Рис.4.111. Конструкції накладних ЕП для контролю циліндричних виробів: а – з дугоподібними електродами; б – з електро-

Рис.4.112. Конструкції електричних перетворювачів для контролю сипких матеріалів: а, б, в – занурювальні, г – типу посудини; д – типу посудини з пресовим пристроєм для ущільнення

дами, розташованими в двох площинах під регульованим кутом; 1 – об’єкт контролю; 2 – електроди ЕП; 3 – ізоляційний екран; 4 – вузли вимірювальної схеми

Різниця потенціалів залежить від трьох факторів: питомої електричної провідності матеріалу, геометричних розмірів виробу і наявності поверхневих тріщин (рис.4.113). Під час пропускання через виріб змінного струму різниця потенціалів буде залежати і від магнетної проникності.

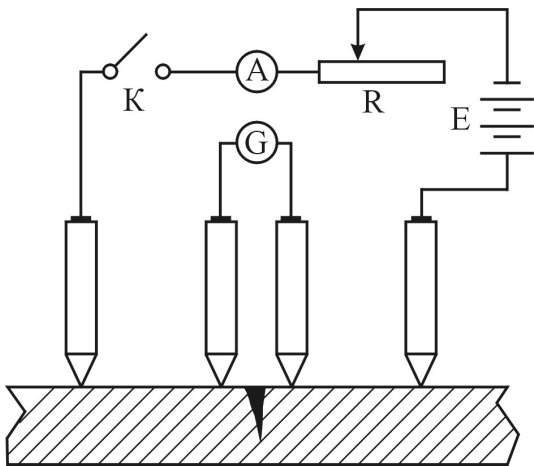


Рис.4.113. Схема електропотенціального приладу

У приладах є чотири електроди. За допомогою двох із них (струмопідвідних) до контрольованої ділянки виробу підводять струм, а два інші електроди слугують для вимірювання різниці потенціалів на певній відстані, за якою визначають виявлену тріщину (див. рис.4.113).

Електропотенціальні прилади використовують для вимірювання товщини стінок деталей, для вивчення анізотропії електричних і магнетних властивостей,

обумовлених механічними напружинами, але основне призначення цих приладів – вимірювання глибини тріщин, виявлених іншими методами неруйнівного контролю. Електропотенціальний метод з використанням чотирьох електродів є єдиним методом, який дає можливість здійснити просте вимірювання глибини поверхневих тріщин до 100...120 мм.

Загальний вигляд портативного вимірювача глибини тріщини наведений на рис.4.114. Характерною особливістю приладу є використання імпульсного струму до 5 А з частотою імпульсів 1000 Гц.

Це дає можливість суттєво підвищувати чутливість приладу і одночасно зменшити використовувану потужність.

Різниця потенціалів, виміряна за допомогою вимірювальних електродів, які розташовують навколо тріщини, поступає на вхід блоку оброблення інформації, який вмістить послідовно включені підсилювач змінного струму, амплітудний детектор, підсилювач постійного струму і аналого-цифровий перетворювач, з виходом із якого сигнал поступає на цифровий індикатор, тобто результати виміру глибини тріщини подаються в цифровому вигляді.



Прилад має імітатор дефекту, за допомогою якого проводять перевіряння роботоздатності приладу і його метрологічні характеристики.

Використання вимірювачів глибини тріщин спільно з іншими методами контролю, наприклад, з магнетопорошковим або капілярним, дає можливість підвищити ефективність неруйнівних методів виявлення і оцінювання тріщин, особливо утомних, які виникають у процесі експлуатації.

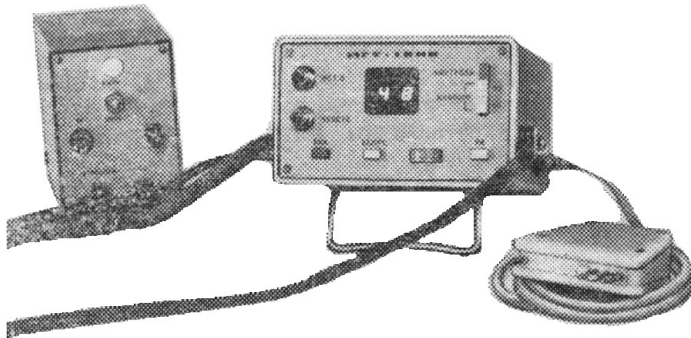


Рис.4.114. Загальний вигляд вимірювача глибини тріщин мод. ИГТ-10НК

У практиці неруйнівного контролю використовують прилади, робота яких заснована на реєстрації спотворених силових ліній вектора щільності струму, обумовленого дефектом. Приладами реєструють поперечну складову вектора щільності струму, яка в бездефектній частині виробу відсутня.

Дефектоскопи цієї групи використовують для виявлення утомних тріщин у виробках складної геометрії, наприклад, у нарізевих з'єднаннях, зубчастих передачах (колесах), в яких напрямок розташування вірогідних дефектів відомий.

Прилади вмістять електронний блок, набір змінних перетворювачів, за допомогою яких можливий контроль поверхні нарізі або зуба в певному діапазоні типорозмірів, виносний індикатор дефектів і комплект зразків, які слугують для налагодження приладів і перевіряння їх роботоздатності.

Струмopідводні електроди під час установлювання перетворювача на контрольовану поверхню спираються на суміжні грані зуба на 1...2 мм вище середньої лінії, рис.4.115.

Під час контролю нарізі трапецієподібного профілю з кроком 8 і 12 мм один електрод спирається на основу, другий – в грань нарізі (див. рис.4.115, в). Обстежування контрольованої поверхні здійснюють вручну, установленням перетворювача в нитку нарізі або в западину між зубами і поступовим переміщенням його вздовж твірної нарізі або зуба.

На рис.4.116 наведений загальний вигляд модернізованого приладу, який призначений для виявлення утомних тріщин не тільки в

нарізях метричного, дюймового і трапецієподібного профілей, але і в перехідних поверхнях (галтелях) з радіусами кривини 3...20 мм.

На відміну від інших приладів цього класу, роботоздатність дефектоскопа МД-42К перевіряють за допомогою електричних імітаторів, які уявляють собою лінійні проводії, приєднані до джерела змінного струму. Протікання струму через проводій імітує магнетне поле, обумовлене дефектом.

Прилади неруйнівного контролю, які засновані на **термо-електричному методі**, використовують для сортування деталей, виготовлених із різних марок сталей, експрес-аналізу хімічного складу сталей і чавунів безпосередньо під час їх плавлення і в злитках та виливках, визначення товщин гальванічних покриттів, вимірювання глибини загартованого шару, дослідження процесів утоми металу тощо.

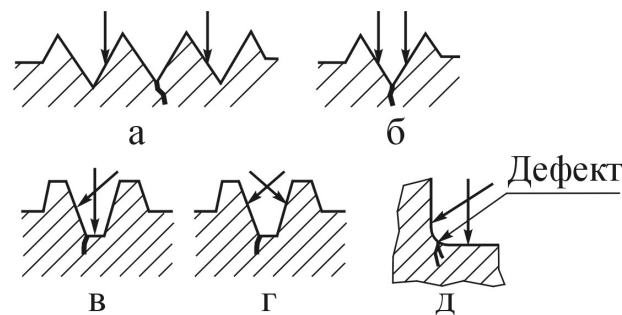


Рис.4.115. Схеми розташування струмопідводних електродів на контрольовані поверхні: а – на нарізі метричного профілю; б – на нарізі метричного профілю з кроком 3...12 мм; в – на нарізі трапецієподібного профілю з кроком 8...12 мм; г – на зубах великого профілю; д – на галтелях спряжених поверхонь

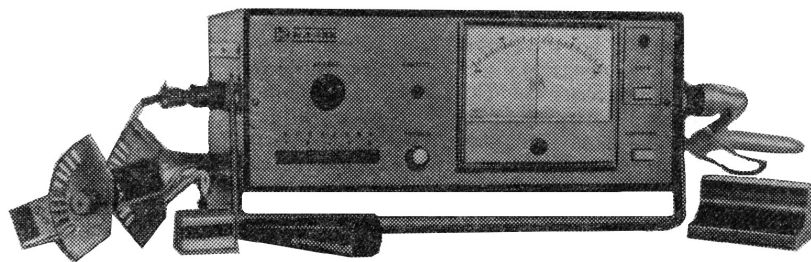


Рис.4.116. Загальний вигляд приладу МД-42К

Джерелом інформації щодо фізичного стану матеріалу під час термоелектричного методу неруйнівного контролю є термо-ЕРС (термоелектрорушійна сила), яка виникає в колі, що складається із двох електродів (гарячого і холодного) і контрольованого металу.

Оброблення інформації здійснюють або за схемою перетворення або за диференціальною схемою, рис.4.117.

Сутність роботи приладів за схемою прямого перетворення інформації полягає в наступному. Контрольований об'єкт 1 ставлять на площину холодного електрода 3. До контрольованої поверхні доторкаються гарячим електродом 2, який нагрівається елементом 4.

У місці контакту гарячого електрода виникає термо-ЕРС і струм починає текти колом, в яке ввімкнутий індикаторний прилад V.

Під час роботи приладу за диференціальною схемою до холодних електродів, на яких розміщені зразок 5, виготовлений із відомої марки сталі, і контрольована деталь 1, увімкнутий індикаторний прилад V.

До цих деталей одночасно доторкаються гарячим електродом – щупом 2, спостерігають за показами індикаторного приладу V і роблять висновок щодо належності контрольованої деталі до марки сталі зразка.

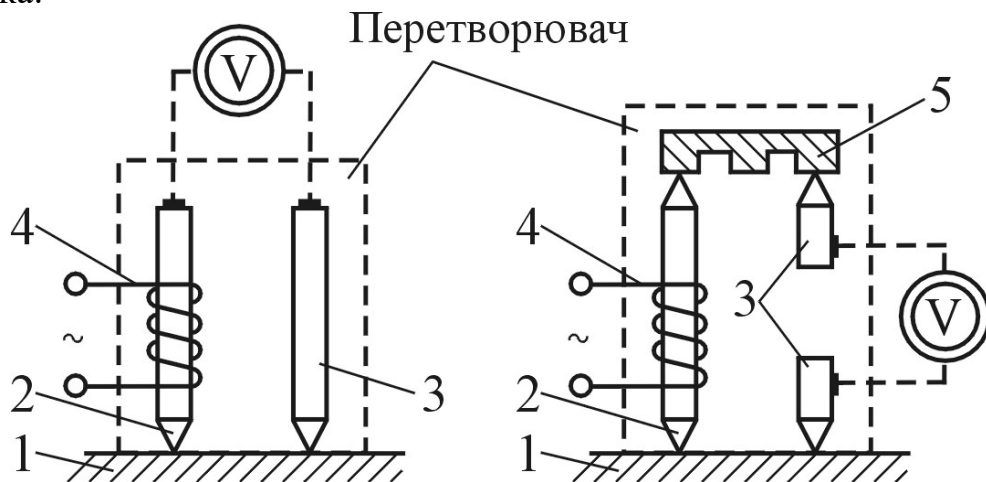


Рис.4.117. Схеми контролю прямим перетворенням інформації (а) і диференціальним методом (б): 1 – контрольований об'єкт; 2 – гарячий електрод; 3 – холодний електрод; 4 – нагрівальний елемент; 5 – зразок із відомої марки сталі

Реєстрацію результатів контролю можна здійснювати трьома способами:

- за кутом відхилення стрілки індикаторного приладу;
- за зміною знаку термо-ЕРС;
- за індикацією нульового показання.

Загальний вигляд універсального термоелектричного приладу ТЕП-10К наведений на рис.4.118

У цьому приладі за допомогою терморегуляторів підтримують сталі температури холодного і гарячого електродів: температура холодного електрода  $-40 \pm 2^\circ\text{C}$ , гарячого – може бути  $80 \pm 2^\circ\text{C}$ ;

100

$\pm 2^{\circ}\text{C}$ ;  $120 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , що дає можливість підвищити точність показів приладу. Прилад може працювати за абсолютним і компенсаційним методами. Під час використання абсолютного методу за вимірами термоЕРС визначають марки сталі, а під час компенсаційного здійснюють автоматичне сортування з установленням меж придатності за верхньою і нижньою межами для даного виду виробів.

Для контролю суцільності діелектричних покриттів (емаль, скло, епоксидна смола тощо) на внутрішній поверхні труб використовують **електроіскрові прилади**. Робота таких приладів заснована на електроіскровому пробі дефектних місць у діелектричному покритті високою напругою випрямленого струму.

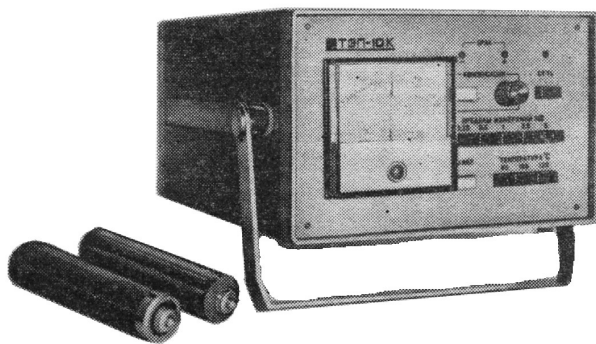


Рис.4.118. Загальний вигляд приладу ТЕП-10К

Контроль здійснюють за допомогою змінних електроіскрових головок, які встановлюють у трубу за допомогою металевої штанги. Дефектоскопи забезпечені світловою і звуковою сигналізаціями.

У текстильній, паперовій, нафтохімічній і інших галузях промисловості використовують прилади, засновані на **безконтактному вимірюванні напруженості електростатичних зарядів**, які виникають під час електризації швидкорухомих діелектричних матеріалів.

Як вимірювальний перетворювач у приладі використовують динамічний конденсатор, який вмістить нерухомий вимірювальний електрод і рухомий уземлений електрод, виконаний у вигляді крильчатки.

Рухомий електрод періодично екранує вимірювальний від дії електростатичного поля.

Електростатичний заряд, який індуктується на вимірювальному електроді, перетворюється в змінну напругу, амплітуда і фаза якої несуть інформацію щодо напруженості електростатичного поля і знаку заряду.

Результати вимірювань відображаються за допомогою цифрового трирозрядного індуктора.

У приладі передбачені виходи для вмикання реєструвального приладу або цифродрукуювального пристрою.

**Трибоелектричний метод дефектоскопії** заснований на вимірюванні трибоелектричних зарядів, які виникають під час тертя

різномірних матеріалів. Важливим є те, що величина зарядів не залежить від величини зерна, маси, конфігурації виробу і визначається тільки хімічним складом матеріалів.

Метод використовують для розпізнавання і розподілу виробів із вуглецевих і легованих сталей. Трибоелектричний ефект залежить і від вмісту вуглецю в сталі, тому метод може бути використаний для розпізнавання і розподілу вуглецевих сталей.

#### 4.3.11 Теплові методи контролю

Теплові методи неруйнівного контролю засновані на реєстрації теплових полів, температури, світлового потоку або теплового контрасту контрольованого об'єкта.

Методи використовують для вимірювання температури виробу, рідкого металу та виявлення дефектів матеріалів і виробів за зміною розподілу інтенсивності теплового випромінювання.

У теплових методах контролю як пробну енергію використовують теплову, яка поширюється в об'єкті контролю. Температурне поле поверхні об'єкта є джерелом інформації щодо особливості процесу теплопередачі, яке, в свою чергу, залежить від наявності внутрішніх і зовнішніх дефектів.

Основною характеристикою температурного поля, як індикатора дефектів, є величина локального температурного перепаду. Координати місця перепаду, його рельєф або, іншими словами, топологія температурного поля і його величина в градусах є функцією великої кількості факторів. Ці фактори розділяють на внутрішні і зовнішні.

**Внутрішні фактори** визначаються теплофізичними властивостями контрольованого об'єкта і дефекту, а також їх геометричними параметрами. Ці ж фактори визначають часові параметри процесу теплопередачі, тобто процесу розвивання температурного перепаду.

**Зовнішніми факторами** є характеристики процесу теплообмінування на поверхні об'єкта контролю (наприклад, коефіцієнт конвективної тепловіддачі), потужність джерела нагрівання і швидкість його переміщення вздовж об'єкта контролю.

Теплові методи контролю розділяють на **пасивні** і **активні**.

Під час **пасивного методу** контролю об'єкт не піддають дії зовнішнього джерела енергії. Метод використовують для виявлення відхилень від заданої форми і геометричних розмірів, а також для дослідження теплового режиму контрольованих об'єктів.

**Активний метод** контролю дає можливість виявити порушення суцільності матеріалу об'єкта (тріщини, поруватість, неметалеві вкраплини, розшарування тощо) і зміни в структурі та фізико-хімічні властивості дією на об'єкт зовнішнім джерелом енергії.

Використовують такі методи активного контролю виробів:

– короткочасне локальне нагрівання виробу з наступною реєстрацією температури тієї ж (під час одnobічного контролю) або протилежної частини виробу (під час двобічного контролю).

Після деякого часу (щоб виріб встиг захолонути) контролюють за такою ж технологією іншу частину виробу до повного його обстеження. Виміряна температура дефектних частин буде суттєво відрізнятися від температури бездефектних ділянок;

– з використанням сканувальної системи, що складається із жорстко закріплених один відносно другого джерел нагрівання і реєстраційного приладу (наприклад, радіометра), які переміщують із сталою швидкістю вздовж поверхні контролюваного об'єкта;

– одночасне нагрівання поверхні виробу вздовж певної лінії з наступною реєстрацією температури вздовж цієї ж лінії (під час одnobічного контролю) або вздовж такої ж лінії на протилежній поверхні виробу (під час двобічного контролю);

– одночасне нагрівання всієї поверхні виробу з наступною одночасною реєстрацією температурного розподілу на цій же або протилежній поверхні.

Ефективність виявлення дефектів кожним із наведених методів теплового контролю зменшується від першого до четвертого, а продуктивність зростає.

**Фізичні основи теплового випромінювання:** безконтактні методи теплового контролю засновані на використанні інфрачервоного випромінювання, яке випускається всіма нагрітими тілами. Інфрачервоне випромінювання має широкий діапазон хвиль – від 0,76 до 1000 мкм. Спектр, потужність і просторові характеристики цього проміння залежать від температури тіла і його випромінювальної здатності, обумовленої матеріалом і мікроструктурними характеристиками випромінювальної поверхні. Наприклад, шорсткі поверхні випромінюють енергію інтенсивніше, ніж дзеркальні. При підвищенні температури потужність випромінювання швидко зростає, а її максимум зсувається в бік більш коротких хвиль. Спектр випромінювання може бути безперервним або дискретним.

Характер спектра залежить від агрегатного стану речовини. Для твердих і рідких тіл характерні безперервні спектри випромінювання, а для газоподібних – лінійчасті, які в умовах високих тисків або великих товщин переходять у безперервні.

Для характеристики теплового випромінювання вдалим виявилось поняття абсолютно чорного тіла (АЧТ), тобто тіла, що поглинає всі промені, які на нього падають. Випромінювання АЧТ описується

аналітично, воно є функцією тільки його температури. Фізичною моделлю АЧТ може слугувати замкнена порожнина з отвором, значно меншим її габаритів.

Закони випромінювання АЧТ можна використовувати з певною поправкою для більшості реальних тіл, що обумовлює їх значення.

**Джерела нагрівання контрольованих об'єктів:** під час використання теплового контролю особливу увагу приділяють джерелам нагрівання, які слугують для прискорення теплового випромінювання контрольованими об'єктами.

Для нагрівання виробів використовують як стаціонарні, так і короткочасні (імпульсні) джерела. Для короткочасного нагрівання використовують високоінтенсивні джерела тепла. Таке нагрівання здійснюють бомбардуванням електронним пучком виробу у вакуумі, плазмовим струменем, фокусуванням інфрачервоного або видимого випромінювання, електромагнетним полем високої частоти, лазерним променем, гарячими газами тощо.

Стаціонарне нагрівання здійснюється проходженням електричного струму через виріб, використанням спеціальних нагрівачів, гарячих газів тощо.

Для контролю складних структур сотових конструкцій, зварених і паяних з'єднань використовують нагрівання плазмовим струменем, який забезпечує високу концентрацію теплової енергії до  $500 \text{ кВт/см}^2$  і дає можливість одержувати достатньо високі температури окремих частин поверхні тіла, що нагрівається, за короткі проміжки часу. До переваг такого способу нагрівання також відносять конвективний характер теплопередачі від плазмового струменя до виробу, який нагрівають, відсутність контакту нагрівача з виробом, стабільність роботи плазмотрона.

Масивні вироби (злитки металу, лопатки турбін тощо) нагрівають індуктором.

Оптичні джерела теплової енергії надзвичайно мобільні, вони дають можливість передавати світлову енергію у важкодоступні порожнини за допомогою світлопроводів, зручно управляти променем. Потужні джерела типу „світлових печей“ можуть нагрівати метал до температури плавлення.

**Засоби та методи контролю температури:** провідне місце у вимірюванні температури посідають **термометри**. Ці прилади поділяють на рідинні манометричні, термоелектричні (термопари), опору та термоіндикатори і відносять до приладів контактної дії.

Дія **рідинних** термометрів заснована на термічному розширенні рідини, яка знаходиться в капілярі термометра. Як робочі рідини використовують ртуть (діапазон температур від  $-25$  до  $+600^\circ\text{C}$ ), метаксилол

(-160...+320°C), силіконові рідини, метали з низькою температурою плавлення.

Дія **манометричних** термометрів заснована на залежності між температурою і тиском робочої речовини, яка знаходиться в замкненому об'ємі. Після занурення давача термометра (термобалона) у вимірюване середовище його робоча речовина змінює об'єм і за допомогою чутливої манометричної пружини переміщує стрілку індикатора. Термобалон з'єднаний з приладом капіляром. У газових манометричних термометрах використовують азот, який дає можливість вимірювати температури від -160 до + 600°C.

**Конденсаційні** (парорідинні) манометричні термометри використовують для вимірювання температур від -60 до +320°C. Робочою речовиною в манометрах слугують метилхлорид, спирт, етиловий ефір.

Довжина гнучкого капіляра, який з'єднує термобалон з корпусом приладу, може досягати 60 м.

Дія термометрів **опору** заснована на зміні електричного опору речовини (метали, їх оксиди, солі тощо) залежно від температури.

Чутливий елемент термометра опору (металевий дріт) закріплений на каркасі із слюди або кварцу і розташований у балоні для захисту давача від навколишнього середовища. Залежно від умов використання термометра балон виготовляють із кварцу, скла, фарфору або металу. Схема термометра опору наведена на рис.4.119.

Особливо чутливими є напівпровідникові термометри опору, які мають невеликі габаритні розміри (діаметр – 1...7 мм, довжина – 7...13 мм).

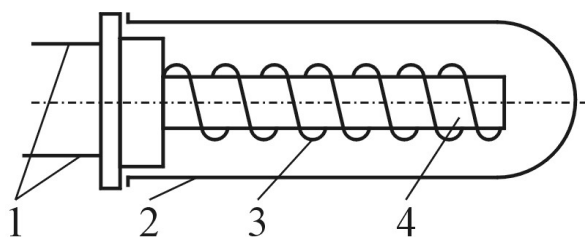


Рис.4.119. Схема термометра опору: 1 – контакти; 2 – балон; 3 – дріт; 4 – каркас

Термометри опору виготовляють з використанням платини (ТОП) – робочий інтервал температур від -200 до +650°C, міді (ТОМ) – робочий інтервал температур від -50 до + 180°C. Інерційність термометрів опору коливається від 1 хв. до 9 с. Похибка платинових термометрів опору дорівнює  $\pm 0,0001\%$  при 0°C і  $\pm 0,001\%$  - при +100°C.

Для вимірювання зміни опору в термометрах цієї групи використовують стандартний компенсаційний метод.

Робота термоелектричних термометрів заснована на термоелектричному ефекті, який виникає в термопарі. **Термопарою** або термоелементом називають коло із двох різнорідних електричних провідників (термоелектродів), кінці яких з'єднані зварюванням або паянням. За умови наявності різниці температур у місцях з'єднання термоелектродів (гаряча спаїна) і холодними кінцями в колі генерується



термо-ЕРС, значення якої залежить тільки від температури спаїни і матеріалу електродів, але не залежать від діаметра і довжини провідників та розподілу температур по їх довжині.

Якщо температура одного із кінців термопари стала, то термо-ЕРС залежить тільки від температури її робочої спаїни.

Для термоелектродів використовують платину, залізо, молібден, вольфрам, мідь, манганин, платинородій, хромель, копель, алюмель, константан.

Конструктивне оформлення термопар різне і повинне відповідати умовам їх експлуатації з максимальною зручністю під час використання. Робочі кінці термопар здебільшого захищають оболонками із фарфору або кварцу.

Для вимірювання температури рідкого металу в плавильному агрегаті використовують автоматизовані термопари, рис.4.120.

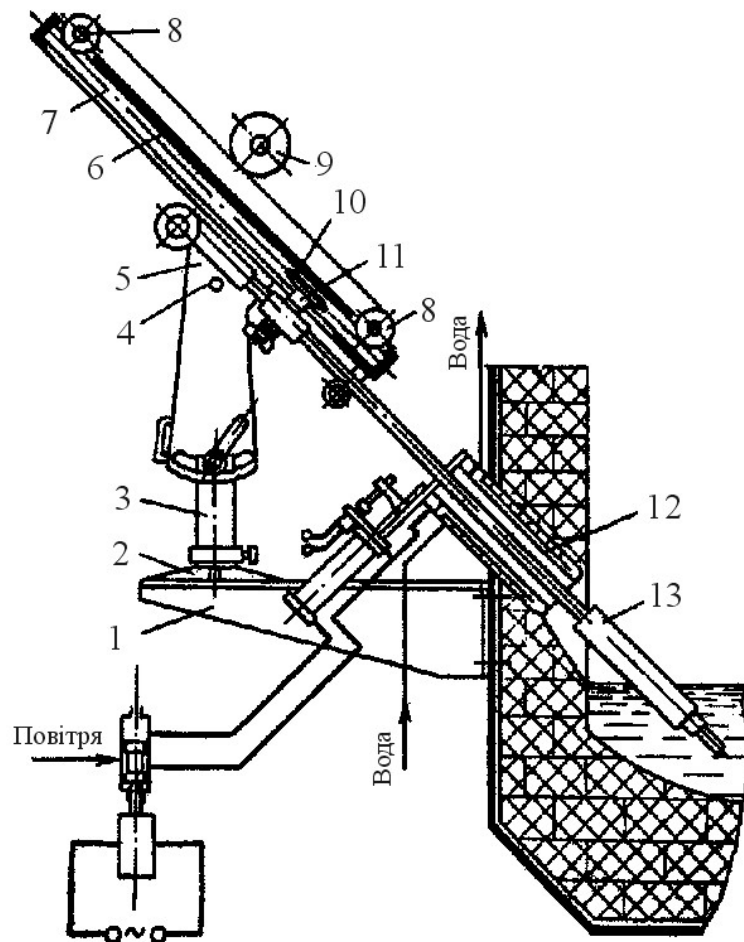


Рис.4.120. Структурна схема автоматизованої термопари: 1 – кронштейн; 2 – вертикальна колонка; 3 – поворотний стояк; 4 – вісь; 5 – плата; 6 – напрямівна труба; 7 – тросик; 8 – напрямівні ролики; 9 – шків; 10 – повзун; 11 – кріпильна струбцина; 12 – водоохолоджувальна фурма; 13 – корпус термопари

Характеристики деяких термопар наведені в табл.4.11.

Переваги термоелектричних термометрів: лінійність у широкому діапазоні температур, висока чутливість і стабільність показів, простота виготовлення.

До недоліків слід віднести порівняно велику інерційність (стала часу), яка складає 1...10 с.

Для реєстрації ЕРС використовують стандартні пірометричні вольтметри (самописці або такі, що показують).

У системах дистанційного вимірювання температур використовують електронні автоматичні потенціометри.

Використання сучасної обчислювальної техніки дає можливість реалізувати накопичення максимальних і мінімальних температур, обчислити швидкість зміни температури, здійснити комутацію декількох вимірювальних каналів тощо.

Таблиця 4.11. Технічні характеристики термопар

Інд. поз.	Термопара	Поградування	Верхня температура межа вимірювання		Чутливість, мВ/°С	ЕРС, мВ
			тривалого	короткочасного		
1	Платинородій-платинова ТПП	ПП-1	1300	1600	0,01	16,720
2	Платинородій-платинородієва ТПР	ПР-30/6	1600	1800	0,01	13,927
3	Хромельалю-мелева ТХА	ХА	1000	1300	0,04	52,410
4	Хромелькопелева ТХК	ХК	600	800	0,08	66,400
5	Спецсплави ТМС	МС	1000	—	0,02	13,390
6	Мідьконстантанова	—	400	—	0,015... 0,04	20,000
7	Вольфрам-ренієва ТВР	ВР 5/20	2200	2500	0,01	31,450
8	Вольфрам-молібденова ТВМ	—	1800	—	0,015... 0,04	20,000

Для вимірювання температур в умовах інтенсивної дії електричних або магнетних полів використовують нове покоління термо-метрів

– оптичні. Основна відмінність оптичних приладів від електронних – відсутність металевих провідників. Давач у цих приладах розташований на кінці волоконного світлопроводу, за допомогою якого інформація щодо температури передається до оптикоелектронного пристрою з цифровим дисплеєм або виходом на самозаписувач.

Перспективним у галузі оптичних методів контролю технологічних параметрів є напрямок створення багатоканальних багатопараметричних давачів, які одночасно вимірювали б температуру і тиск, деформацію і температуру тощо.

**Термоіндикатори.** Дія термоіндикаторів заснована на змінюванні стану, яскравості і кольору світіння деяких речовин під час нагрівання.

За допомогою термоіндикатора можна швидко і економічно одержати інформацію щодо теплового режиму контрольованого об'єкта.

Перевагами термоіндикаторів є „запам'ятовування” розподілу температур у процесі випробовувань, простота і наглядність, економічність.

До недоліків термоіндикаторів відносять інерційність, порівняно невисоку точність, необхідність нанесення на поверхні контрольованих виробів спеціальних покриттів, складність вивчення динамічних температурних режимів.

Термоіндикатори поділяють на три основні типи:

– такі, що змінюють колір при певній температурі, яку називають критичною або температурою переходу;

– такі, що плавляться при певній температурі;

– такі, що змінюють яскравість і колір під час нагрівання.

**Термоіндикатори**, які змінюють колір, розділяють за принципом дії на покриття з хімічною взаємодією і плавленням компонентів, поверхнево-градієнтні і термохромні.

**Термоіндикатори** з хімічною взаємодією (галоїдні комплексні солі срібла, ртуті, міді тощо) можуть взаємодіяти з металами, тому їх наносять на стрічки із тканини, паперу, фольги тощо. Такі термоіндикатори можуть бути оборотними, тобто здатними багаторазово змінювати колір, і необоротними.

**Оборотні термоіндикатори** особливо ефективні для контролю рухомих об'єктів (підчипників, покришок коліс літаків, лопастей турбін, гальм, муфт тощо).

Термоіндикатори цього типу використовують для контролю циркулювання рідин у компресорах, виявлення перегрівань у металургійних печах, хімічних установках, елементах енергосистем (трансформаторах, з'єднувачах, кабелях високої напруги). Їх використовують в аерокосмічній техніці. На космічних апаратах вони слугують для регулювання температури.

**Необоротні термоіндикатори** здатні „запам’ятовувати” температуру, а тому їх використовують для визначення оптимальної температури процесів прокатування, зварювання, термічного оброблення, контролю тепловиділення в енергоустаткованні тощо. Їх використовують і в консервній галузі для того, щоб вилучати можливість пропускання банок, які не пройшли стерилізацію.

**Термоіндикатори з плавленням компонентів** розділяють на адсорбентні і двошарові.

**Адсорбентні покриття** уявляють собою двокомпонентну систему речовин з різними температурами плавлення. Під час нагрівання менш термостійкий компонент плавиться, дифундує в більш термостійкий і змінює його колір.

У **двошарових покриттях** один із шарів під час нагрівання змінює свою прозорість і цим змінює колір системи в цілому.

**Поверхнево-градієнтні покриття** уявляють собою рідкі кристали – органічні сполуки, які одночасно мають властивості рідини (текучість) і твердого кристалевого тіла (анізотропія, подвійне променезаломлення). Під час зміни температури рідкого кристалу відбите від нього світло різко змінює свій спектр.

Такі термоіндикатори використовують для дослідження температур в електронних схемах і виявлення несущільностей у різних об’єктах.

Дія **термохромних покриттів** заснована на змінюванні кольору органічних речовин під час нагрівання внаслідок перебудови їх структури.

Термоіндикатори плавлення розділяють на дві групи: покриття, які плавляться, і термосвідки.

Покриття виготовляють у вигляді термоолівців (крейди), термолаків, термотаблеток (термопорошків). Їх виготовляють на основі воску, стеарину, парафіну або сполук сірки, цинку, свинцю (для високих температур).

На поверхню виробу термоолівцем наносять риску, яка плавиться при досягненні заданої температури. Дія термолаків і термотаблеток аналогічна.

**Термосвідки** – це нанизані на тугоплавкий дріт пластинки із металів, які плавляться при різних температурах. Інколи замість металів використовують кусочки пластмас, які чорніють при 100...500°C. Точність вимірювання індикаторів цієї групи може досягати 1%.

Дія **люмінографічних термоіндикаторів** заснована на температурній залежності кольору або інтенсивності люмінесценції деяких речовин, наприклад, сульфідів цинку і кадмію.

Недоліком люмінофорних індикаторів є необхідність точної стабілізації випромінювання, яке збуджує люмінесценцію.

Люмінофорні термоіндикатори використовують для дослідження мікрооб'ємів у радіоелектроніці, виявлення дефектів у транзисторах тощо.

**Прилади для неконтактного вимірювання температури:** дія таких приладів заснована на реєстрації теплового випромінювання нагрітих об'єктів.

За характером одержання інформації розрізняють пірометри для локального вимірювання температури в певній точці об'єкта і пірометри для аналізу температурних полів (тепловізори).

За принципом дії розрізняють яскрависті, колірні і радіаційні пірометри.

**Яскрависті візуальні пірометри** використовують для вимірювання яскравистих температур вище  $600^{\circ}\text{C}$ . Принцип їх дії заснований на залежності спектральної яскравості нагрітих тіл від температури, яка описується законами Планка і Віна. Схема яскравистого пірометра наведена на рис.4.121. Об'єктив 3, проектує об'єкт 1 через діафрагму 2 і нейтральний фільтр 4 на площину розташування спіралі пірометричної лампи 5.

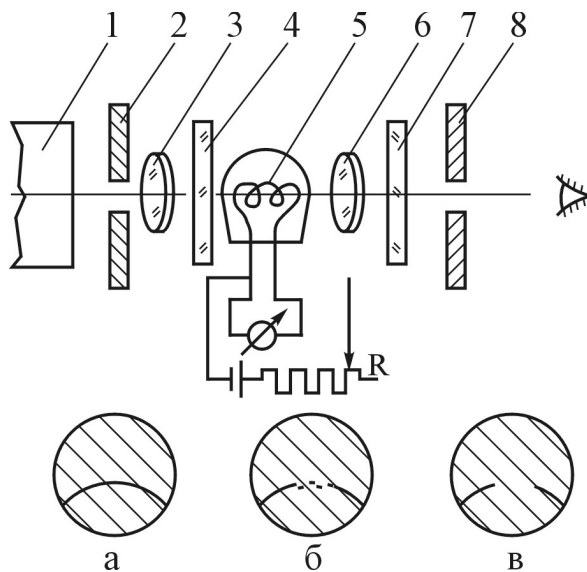


Рис.4.121. Схема яскравистого пірометра: 1 – об'єкт контролю; 2, 8 – діафрагми; 3 – об'єктив; 4, 7 – фільтри; 5 – спіраль пірометричної лампи; 6 – окуляр; а, б, в – поле зору приладу для різних режимів розжарювання спіралі лампи

Спіраль розглядають через червоний світлофільтр 7 за допомогою окуляра 6. Спостерігач бачить одночасно зображення спіралі і об'єкта. Потенціометром R змінюють яскравість спіралі до зникання її на фоні об'єкта (див. рис.4.121, а, б, в), визначають відповідний цьому моменту струм спіралі і за градуйованою шкалою приладу – температуру об'єкта.

Такими приладами вимірюють температуру рідкого металу під час випускання його із плавильного агрегату або розливання в ливарні форми, нагрітих виливків або деталей, що знаходяться в термічній печі тощо.

Слід зазначити, що випромінювальна здатність об'єкта залежить від ступеню його АЧТ. Ступінь чорноти реальних тіл завжди менший 1, а пірометри градуують, переважно, за випромінюванням абсолютно чорного тіла. Отже, виміряна оптичним пірометром температура нижча за дійсну. Її називають яскравистою.

Для одержання дійсної температури необхідно до яскравистої додати поправку на неповноту випромінювання тіла, тобто на ступінь чорноти:

$$T_d = t_j + \Delta \epsilon \quad (4.27)$$

У використанні залишаються серійні візуальні яскрависті пірометри:

– ОППР-09 і ОППР-017 із вмонтованими показувальними приладами і з автономним живленням від акумулятора. Діапазон вимірюваних температур цими приладами від 800 до 6000°C з точністю  $\pm 20^\circ\text{C}$ ;

– пірометр підвищеної точності ОПК-57, діапазон вимірюваних температур від 700 до 6000°C з точністю  $\pm 10^\circ\text{C}$ ;

– мікропірометри МОП-48 і ОМП-43 для вимірювання температури малих об'єктів. Відстань до об'єкта 125...1000 мм, розміри об'єкта – 0,2...0,5 мм. Діапазон температур – 800...2900°C;

– зразкові пірометри ОП-48 і ЕОП-51М. Розміри об'єкта від 0,5 мм. Діапазон температур – 900...6000°C з точністю  $\pm 1,6^\circ\text{C}$ .

Яскрависті пірометри з електроннооптичними перетворювачами і передавальними телевізійними трубками чутливі в інфрачервоній області спектра і дають можливість вимірювати низькі температури (менші 600°C). Схеми яскравистого пірометра з ЕОП і телевізором наведені на рис.4.122.

Принцип його дії заснований на перетворенні інфрачервоних променів, які випускають контрольований об'єкт і еталонна лампа, у видиме випромінювання за допомогою ЕОП або видикона. Яскравості візуалізованих зображень об'єкта і спіралі пірометричної лампи зрівнюють звичайним способом.

Модифікацією яскравистих пірометрів є фотографічні пірометри, які фіксують зображення об'єкта і еталона яскравості на фотоплівці і здійснюють їх фотометричне порівняння візуальним методом або за допомогою денсиметрів.

Перевагою цих приладів є можливість реєстрації температурних полів об'єктів великих розмірів з високою просторовою і часовою роздільною здатністю.

Дія **колірних пірометрів** заснована на порівнянні інтенсивності випромінювання об'єкта в двох спектральних діапазонах.

Логарифм їх відношення обернено пропорційний колірній температурі об'єкта. Оптична схема колірного пірометра вмістить два кольорових фільтри, через які за допомогою модулятора потік випромінювання від об'єкта навперемінно направляється на фотоприймач. Функціональна схема колірного пірометра наведена на рис.4.123.

Колірний пірометр не потребує поправок на ступінь чорноти. Діапазон вимірюваних температур – 1400...2800°C.

Метод колірної пірометрії може бути поширений на інфрачервону область спектра після відповідного підбору приймача випромінювання і матеріалів проекційної оптики і світлофільтрів. У цьому ви-падку нижня межа температурного діапазону дорівнює 20...50°C.

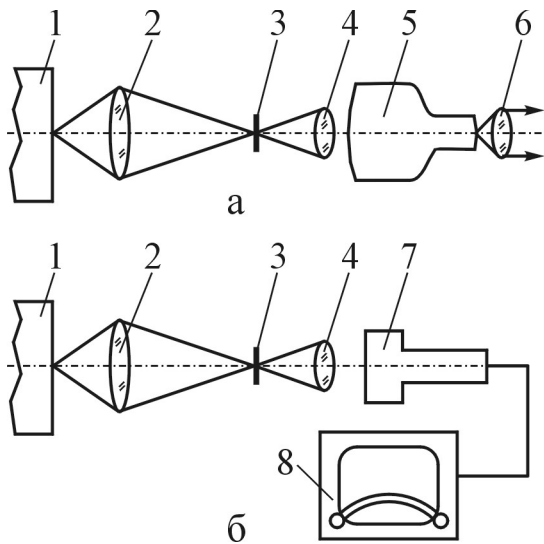


Рис.4.122. Схеми яскравистого пірометра з ЕОП (а) і телевізійною системою (б): 1 – об'єкт; 2 – об'єктив; 3 – спіраль лампи розжарювання; 4 – оптика для перенесення зображення; 5 – ЕОП; 6 – окуляр; 7 – інфрачервоний видикон; 8 – телевізор

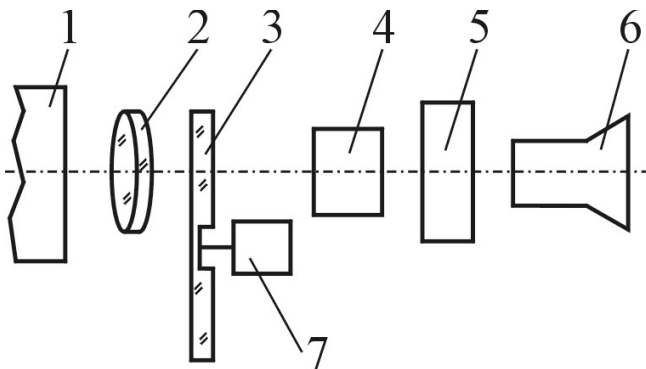


Рис.4.123. Схема колірного пірометра: 1 – об'єкт; 2 – об'єктив; 3 – селективні світлофільтри; 4 – приймач випромінювання; 5 – електронна схема; 6 – реєстратор; 7 – модулятор

Дія **радіаційних пірометрів** заснована на використанні залежності випромінюваної тілом енергії від його температури. Схема радіаційного пірометра наведена на рис.4.124.

Прилади цього типу використовують для вимірювання, переважно, низьких ( $20\dots 100^{\circ}\text{C}$ ) температур.

Приймачами випромінювання слугують окремі термопари або термопарейі (поєднані послідовно з'єднані термопари до 10 шт).

Для вимірювання температури слабконагрітих тіл використовують об'єктиви із матеріалів, прозорих у відповідній спектральній області. Скло використовують для вимірювання температур від  $900^{\circ}\text{C}$ . Кварц використовують для реєстрації температур вищих  $400^{\circ}\text{C}$ .

Об'єктиви із фтористого літію або фтористого барію дають можливість фіксувати температури в діапазоні  $20\dots 500^{\circ}\text{C}$ . Радіаційні пірометри забезпечуються набором змінних об'єктивів. Наприклад, радіометр РАПП має телескопи ТЕРА-50 із змінною оптикою: із фтористого літію для вимірювання температури в діапазоні  $100\dots 500^{\circ}\text{C}$ , із кварцу –  $400\dots 1500^{\circ}\text{C}$ , із скла –  $900\dots 2500^{\circ}\text{C}$ .

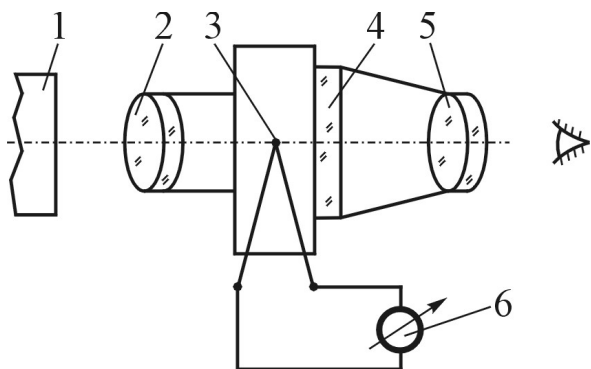


Рис.4.124. Схема радіаційного пірометра: 1 – об'єкт; 2 – об'єктив; 3 – термопарейі; 4 – фільтр; 5 – окуляр; 6 – реєстраційний прилад

У радіометрі використана термопарейі із 10 послідовно з'єднаних хромель-копелевих термопар, робочі спаї яких розташовані на оптичній осі об'єктива. РАПП має такі основні параметри: температурний діапазон (залежно від використовуваної оптики)  $100\dots 2500^{\circ}\text{C}$ , інерційність – не більше 0,5 с, точність вимірювання  $\pm 8^{\circ}\text{C}$ .

**Виявлення внутрішніх дефектів у виливках.** Нагріте тіло є джерелом електромагнетного випромінювання широкого спектра.

У термографії використовують, переважно, інфрачервону його область, невидиму очам людини, після примусового нагрівання контрольованих об'єктів понад  $400^{\circ}\text{C}$ . Частіше обмежують нагрівання виробу температурами його експлуатації. У деяких випадках температура нагрівання лише не набагато перевищує кімнатну. Звідси виникають підвищені вимоги щодо чутливості апаратури та її безінерційності. Як



реєстратори теплової картини поверхні об'єкта використовують електронно-оптичні перетворювачі, евапорографи і еджеографи.

**Евапорограф** працює так: за допомогою оптичного пристрою через вікно в колбі на чорний бік мембрани фокусують теплове випромінювання об'єкта, нагріваючи її частини до температури об'єкта. Одночасно з другого боку мембрани за допомогою спеціального підігрівача підвищують температуру пари, яка після досягнення в цій частині колби тиску, що відповідає точці роси, конденсується на мембрані, при цьому шар конденсату залежить від температури різних частин мембрани.

Освітлюючи чорну поверхню мембрани і використовуючи ефект інтерференції світла можна спостерігати теплограму або фотографувати її. У місцях наявності дефекту в контрольованому об'єкті тепловміст матеріалу буде меншим, ніж у частинах об'єкта без дефектів, тому ділянка мембрани, на яку сфокусоване теплове випромінювання дефектної частини об'єкта, буде мати нижчу температуру і товщий шар конденсату.

**Еджеограф** дає можливість візуально спостерігати розподіл тепла по поверхні тіл, які мають незначну температуру (від 30 до 40°C). Чутливим елементом у приладі є напівпровідникова плівка (афорфний селен товщиною 1 мкм). Тепловий потік від об'єкта контролю направляється на селенову плівку, покриту додатково хромом для збільшення її теплопоглинальної здатності. Нагріваючи окремі ділянки плівки до різних температур і підсвічуючи її світлом натрієвої лампи, можна спостерігати теплограму, оскільки ділянки з більш високою температурою будуть темними, а з низькою – світлими.

В усіх випадках контрольований виріб або частини його необхідно нагрівати, використовуючи промені лазера, струмінь плазми, пучок електронів та інші способи.

## 5 СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Статистичні методи контролю – це статистичне регулювання технологічних процесів і статистичний приймальний контроль.

**Статистичне регулювання технологічних процесів** – це коригування технологічних процесів під час виробництва за допомогою вибіркового контролю параметрів продукції, яку виготовляють, для технологічного забезпечення вимогового рівня її якості і попередження браку.

Статистичне регулювання технологічних процесів здійснюють тільки після того, як на підставі аналізу точності і стабільності доказано, що технологічний процес є статистично керованим, тобто піддається регулюванню і може забезпечити задані показники якості продукції.

Упровадження статистичних методів регулювання технологічних процесів полягає в тому, що робочі, наладчики, технологи або контролери протягом кожної зміни відповідно до плану статистичного регулювання через певні проміжки часу або через певну кількість одиниць продукції повинні брати із потоку продукції чергові вибірки установленого об'єму, вимірювати контрольовані параметри продукції і на підставі одержаних результатів оцінювати стан технологічного процесу, а у випадку необхідності, здійснюючи його корегування.

Для статистичного регулювання використовують облік дефектів, середніх арифметичних значень, медіан, середніх квадратичних відхилень або дисперсій, розмахів або середніх розмахів, крайніх значень, індивідуальних значень тощо.

Метод обліку дефектів доцільно використовувати для виявлення і оцінювання дефектності продукції, а також статистичного регулювання технологічних процесів.

Методи середніх арифметичних значень, медіан і індивідуальних значень використовують для статистичного регулювання рівня налагодження технологічного процесу.

Методи середніх квадратичних відхилень або дисперсій, розмахів або середніх розмахів і крайніх значень доцільно використовувати для статистичного регулювання розсіювання параметрів технологічного процесу.

Допоміжним засобом статистичного регулювання технологічного процесу є контрольна карта. Вона слугує для графічного відображення зміни рівня налаштування і точності процесу. У карту заносять значення статистичних характеристик чергових виборок і фіксують технологічні параметри або режими.

Контрольні карти можна розміщувати на бланках, світловому табло або в пам'яті ЕОМ у закодованому вигляді.

За статистичними характеристиками для оцінювання точності і стабільності технологічного процесу використовують такі контрольні карти: обліку дефектів, середніх арифметичних значень (див. приклад, викладений нижче), медіан, середніх квадратичних відхилень або дисперсій, розмахів, крайніх значень з попереджувальними межами.

У ливарному виробництві, яке уявляє собою багатоопераційний технологічний процес виготовлення виливків, доцільно використовувати для контролю будь-якої операції метод середніх арифметичних результатів вимірювань та розмахів.

Для цього вивчають основні закономірності здійснення технологічних процесів, установлюють причини виготовлення неякісної продукції, зв'язок між значеннями параметрів технологічного процесу і якістю виливків, наприклад, зв'язок між хімічним складом, температурою металу і якістю заповнення останнім ливарної форми або зв'язок між газопроникністю і вологістю формувальної суміші і утворенням газових раковин у виливках. Це дає можливість визначити такі значення параметрів технології, за яких виливки не мають дефектів, а також відхилення значень параметрів, за наявності яких брак неминучий. Отже, здійснюючи корегування параметрів технологічного процесу, можна попередити появу браку.

Розглянемо складання деяких контрольних карт.

**Приклад. Статистичний контроль технологічного процесу термічного оброблення деталей.**

Для здійснення статистичного управління параметром якості на контрольну карту, яку виконують на формулярі з сіткою, наносять дві діаграми: середніх арифметичних значень контрольованого параметра  $\bar{X}$  та розмахів  $R$ . Діаграми розташовують одну під першою.

Середнє арифметичне  $\bar{X}$  вмістить інформацію щодо рівня налагодження технологічного процесу (операції), а  $R$  – щодо його точності.

Під час побудови діаграми середніх арифметичних значень контрольованого параметра на ординаті показують значення параметра (показника якості), а на осі абсцис – номер вибірок або кількість інтервалів, дату та робочу зміну.

Кількість вибірок і інтервалів обумовлюють нормативною документацією залежно від значущості параметра, що контролюють.

Практика показує, що кількість вибірок або інтервалів повинна бути не менше 6 протягом однієї зміни. Збільшення цієї кількості призводить до збільшення приладів, пристроїв, приміщення та лаборантів, а тому повинне бути обґрунтованим.

Статистичне регулювання технологічних процесів особливо ефективно використовувати у великосерійному або масовому виробництвах.

Вихідні дані для управління процесом термічного оброблення деталей наведені в табл.5.1. Зрозуміло, що ці дані взято із уже завершеного контролю.

Таблиця 5.1. Дані для статистичного регулювання технологічного процесу термічного оброблення деталей

Параметр, що контролюють	Межі параметра, що контролюють		Результати випробувань вибірок деталей (визначення твердості)											
	верхня	нижня	перша зміна						друга зміна					
Твердість деталей після гартування, HRC	52	44	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
			45	42	45	51	45	48	44	45	48	51	53	49
			47	50	47	53	44	51	48	48	54	47	48	43
			48	40	51	51	45	54	53	47	44	42	49	50
Середні арифметичні $\bar{X}$			46,6	44,0	47,7	51,7	47,7	51,0	48,3	46,7	48,6	46,6	50,0	47,8

На діаграму середніх арифметичних  $\bar{X}$  наносять: верхню (ВМ) та нижню (НМ) межі параметра, який контролюють, (їх визначають за нормативними документами – ДСТУ, ГОСТ, ТУ, ТУУ, СТП), визначені межі регулювання (нижню РН і верхню РВ) і точки середніх арифметичних значень контролюваного параметра.

Межі регулювання визначають за формулами:

$$РВ = ВМ - a\delta \quad (5.1)$$

$$РН = НМ + a\delta, \quad (5.2)$$

де  $a$  – коефіцієнт, який залежить від об'єму вибірки або від кількості вимірів (табл.5.2);

$\delta$  – половина різниці між значеннями верхньої і нижньої межі контролюваного параметра:

$$\delta = \frac{ВМ - НМ}{2} \quad (5.3)$$

Діаграму розмахів  $R$  розташовують під діаграмою середніх арифметичних значень  $\bar{X}$  параметра, який контролюють.

Розмахи визначають як різницю між максимальним і мінімальним значеннями контролюваного параметра:

$$R = ВМ - НМ \quad (5.4)$$

Межу регулювання розмахів PBR визначають за формулою:

$$PBR = \frac{BMR \cdot D}{2}, \quad (5.5)$$

де BMR – різниця між верхньою і нижньою межами параметра, що контролюють;

D – коефіцієнт, який залежить від об'єму вибірки або кількості вимірів (табл.5.2).

Таблиця 5.2. Значення коефіцієнтів a і D залежно від об'єму вибірки або кількості вимірів контрольованого параметра

Об'єм вибірки або кількість вимірів	Коефіцієнт a	Коефіцієнт D
3	0,423	1,45
4	0,500	1,56
5	0,553	1,63
6	0,592	1,68
7	0,622	1,72
8	0,646	1,75
9	0,667	1,78
10	0,684	1,81

За наведеними формулами визначаємо межі регулювання PV, PH та PBR.

$$\delta = \frac{52 - 44}{2} = 4$$

$$PV = 52 - 0,423 \cdot 4 = 50,3; \quad PH = 44 + 0,423 \cdot 4 = 45,7$$

$$PBR = \frac{8 \cdot 1,45}{2} = 5,8$$

Розраховані значення меж наносимо на контрольні карти і будемо діаграми середніх арифметичних та розмахів за даними табл.5.1. Приймаємо по 6 інтервалів у кожній зміні.

**Технологічний процес проходить задовільно, якщо середні арифметичні значення  $\bar{X}$  параметра, який контролюють, не виходять за межі регулювання PV і PH, а розмахи R не виходять за межу регулювання розмахів PBR.**

Вихід точок за ці лінії, як це є в наведеному прикладі, сигналізує про порушення нормального здійснення технологічного процесу або окремої операції. У цьому випадку контроль параметра повторюють і, якщо результат залишається таким же, технологічний процес або операцію зупиняють, з'ясовують причини порушення і усувають їх.

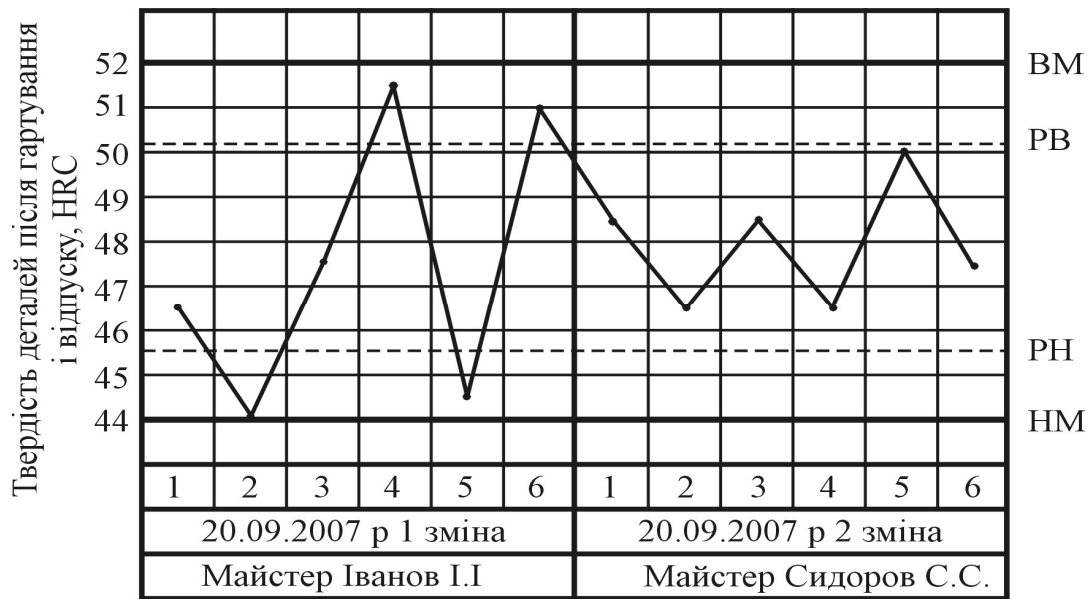


Рис.5.1. Діаграма середніх арифметичних значень контрольованого параметра (твердості HRC)

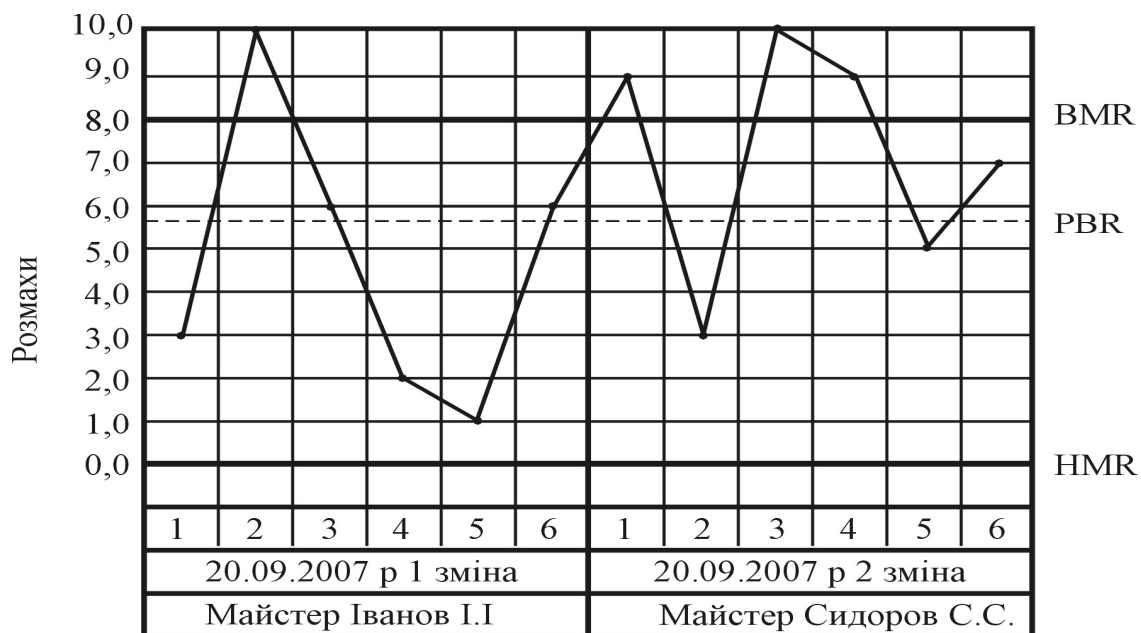


Рис.5.2. Діаграма розмахів

У наведеному прикладі причинами порушення технологічного процесу термічного оброблення можуть бути: нестабільна робота контрольно-вимірювальних приладів, які контролюють режими нагрівання деталей; неправильне розташування деталей у робочому просторі термічної печі, тобто вони нагріваються до різних температур; неоднакова швидкість охолодження деталей, особливо коли гартування здійснюють у корзинах по декілька десятків деталей одночасно тощо.

Слід зазначити, що при вибиранні ширини інтервалів необхідно враховувати такі принципові положення: ширина інтервалу залежить від об'єму вибірки або кількості вимірів, розмаху  $R$  та мети статистичного дослідження.

**Статистичний приймальний контроль якості** є вибірковим контролем, під час якого використовують методи математичної статистики для перевіряння відповідності якості продукції установленим вимогам.

Приймальний контроль здійснюють не тільки по відношенню до готової продукції, його використовують під час операцій вхідного контролю сировини, матеріалів, комплектувальних виробів, під час операційного контролю тощо, тобто в тих випадках, коли за результатами контролю вибірки треба приймати рішення щодо приймання або відхилення партії виробів.

Доцільність використання вибіркового контролю визначена такими причинами:

- у багатьох випадках безперервний контроль взагалі не можна використовувати, наприклад, під час контролю ламп, вибухових речовин, під час оцінки ресурсів виробів тощо;

- безперервний контроль не гарантує, що якість усіх перевірених виробів відповідає технічним вимогам, оскільки похибки під час контролю завжди існують, особливо, якщо кількість контрольованих виробів велика. Внаслідок монотонності процесу розбраковування під час безперервного контролю можливе зарахування бракованої продукції контролером до придатної і навпаки. Крім того безперервний контроль партії продукції економічно недоцільний, оскільки на нього витрачають багато часу і коштів;

- вибірковий контроль дає можливість одержати з певним рівнем достовірності інформацію про те, чи відповідає якість контрольованої партії продукції вимогам нормативної документації.

Отже доцільно (якщо це можливо) контролювати тільки частину виробів – вибірку і за результатами контролю вибірки робити висновок щодо якості всієї партії продукції. На підставі такого контролю оцінюють вірогідність появи певної кількості дефектних одиниць продукції в партії, вірогідність приймання продукції з рівнем дефектності  $P$  тощо.

Контролеру обов'язково надають для контролю всю партію для вибирання із неї вибірки. При цьому вибірка повинна бути випадковою, тобто для будь-якої одиниці продукції контрольованої партії повинна забезпечуватись рівна вірогідність бути відібраною і віднесеною до вибірки.

Основними задачами статистичного приймального контролю є:

- відокремлення придатної партії продукції від непридатної;

- обмеження кількості одиниць продукції, яку контролюють;
- зменшення вірогідності прийняття помилкового рішення (відхилення придатної партії і прийняття непридатної);
- використання накопиченої інформації щодо якості раніше виготовленої продукції для створення „історії якості”;
- впливання на виробника у випадку постачання продукції, яка не відповідає вимогам нормативних документів.

Можливі декілька методів визначення якості виготовлення продукції:

- вимірювання параметрів показників, які характеризують якість продукції;
- віднесення продукції до придатної або дефектної, а також розподіл контрольованої продукції на категорії і класи за результатами вимірів. Відповідно до цього установлені такі методи статистичного приймального контролю: за **кількісним, альтернативним і якісним признаками**.

На підставі інформації щодо експлуатації виробів установлюють недопустимий рівень дефектності  $P_1$ , тобто граничний мінімальний рівень дефектності, зниження якого за міркуваннями і постачальника і користувача небажане. Величину  $P_1$  називають **бракувальним рівнем дефектності**.

Розділити партії виробів на придатні, для яких  $P < P_1$  і непридатні, для яких  $P \geq P_1$ , можливо тільки проведенням безперервного (суцільного) контролю виробів у кожній партії.

Під час статистичного приймального контролю вводять поняття „**приймальний рівень дефектності**”  $P_0$  – максимальний рівень дефектності, який розглядається як задовільний.

Партії виробів з рівнем дефектності нижче приймального рівня  $P \leq P_0$  безумовно є придатним до використання і повинні, за можливістю, прийматися.

Партії виробів з рівнем дефектності вищим за браковочний  $P > P_1$  є непридатними до використання (передавання замовнику) і повинні бути забраковані.

Партії з рівнем дефектності  $P_0 < P < P_1$  вважають допустимими до приймання.

Оскільки вибіркові методи контролю можуть мати певні похибки, то завжди є вірогідність, що „хороша” партія продукції буде забракована (риск виробника), а „погана” партія буде прийнята (риск замовника).

Отже, вибірковий контроль повинен бути побудований таким чином, щоб помилкові рішення приймалися дуже рідко, а вірогідність їх появи була заздалегідь визначена. Це враховують під час складання плану контролю. У план статистичного контролю входять сукупність



даних щодо методу контролю, об'ємів контрольованих партій, вибірок (або проб), щодо контрольних нормативів і вирішальних правил.

Для проведення контролю установлюють контрольні нормативи – значення показників якості продукції, обумовлених нормативною документацією. Вони є критерієм для прийняття рішення відносно відповідності продукції установленим вимогам.

**Риском виробника** називають вірогідність забракування партії продукції, яка має приймальний рівень дефектності, що розглядається під час приймання продукції як задовільний. Приймальному рівню дефектності відповідає висока вірогідність приймання партії.

**Риском замовника** називають вірогідність приймання партії продукції, яка має браковочний рівень дефектності, що розглядається як незадовільний. Браковочному рівню дефектності відповідає висока вірогідність забракування.

Облік ризиків виробника і замовника під час розроблення плану контролю забезпечує їх гарантії щодо забракування непридатних і приймання придатних до використання партій виробів.

Забраковані партії виробів можуть бути направлені на безперервний контроль з метою усунення дефектів.

## 6 КОНТРОЛЬ МАТЕРІАЛІВ І РОБІТ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Ливарне виробництво є основною заготівельною базою машинобудування, оскільки забезпечує литими заготовками практично всі галузі – від верстатобудування, де маса виливків сягає 80% загальної маси виробів, до приладобудування, де маса виливків змінюється у широкому діапазоні – від декількох десятків грамів до сотень кілограмів.

За роки незалежності України на підприємствах сталися суттєві зміни: відбулися перепрофілювання виробництв, змінилася форма власності, великі машинобудівні заводи розділилися на окремі самостійні виробництва; створено багато нових підприємств і фірм; суттєво змінилась номенклатура литих деталей тощо. Залишаються без змін або зростають вимоги до виливків, що потребує високоефективних методів контролю не тільки готової продукції ливарних цехів, а і технологічних процесів і окремих операцій під час її виготовлення.

Значущість методів контролю особливо зростає внаслідок залучення зарубіжних споживачів литва до партнерства з українськими виробниками.

Ливарне виробництво – це складний комплекс технологічних процесів, основними із яких є підготовка шихтових і формувальних матеріалів, приготування формувальних і стрижневих сумішей, проектування і виготовлення оснастки, форм і стрижнів, виплавлення металу і заливання його у форми, здійснення фінішних операцій і контроль якості виливків.

Формувальні і стрижневі суміші справляють суттєвий вплив на властивості ливарних форм і стрижнів, а шихтові – на якість рідкого металу і, врешті-решт, на якість виливків.

У той же час можна використовувати якісні матеріали і виготовляти форми і стрижні за моделями і в стрижневих ящиках, розміри яких не відповідають вимогам, або, виготовляючи форму і стрижні, виплавляючи необхідний сплав, здійснювати технологічні операції з відхиленням від регламентованих режимів, що також неминуче сприятиме появі дефектів у виливках, зниженню їх якості, а інколи призводитиме до утворення того або іншого виду браку.

Усе це визначає різноманітність методів і заходів контролю матеріалів і робіт у ливарному виробництві.

Основними завданнями контролю є:

– установлення відповідності показників якості матеріалів, які поступають у ливарних цех, визначеним технічними умовами, і попередження використання неякісних матеріалів у технологічному процесі виготовлення виливків;

- установлення відповідності режимів і послідовності виконання технологічних операцій, передбачених затвердженою технічною документацією, і попередження порушення технології;

- порівняння якості виготовленої продукції з технічними умовами на цю продукцію;

- виявлення причин відхилення якості продукції від заданої і порушень технологічних процесів, визначення способів підвищення якості продукції, що виготовляють у ливарному цеху.

Якість виливків оцінюють за розмірами, масою, зовнішнім виглядом, механічними властивостями металу, із якого вони виготовлені, структурою, спеціальними властивостями тощо.

У сучасному машинобудуванні використовують методи і прилади контролю, які дають можливість визначити практично всі параметри якості і вихідних матеріалів, і виливків.

Контроль технологічних операцій і процесів у цілому та готової продукції в ливарному цеху здійснюють висококваліфіковані контролери, які вміють:

- контролювати якість вихідних матеріалів та формувальних і стрижневих сумішей, а також точність виготовленої технологічної оснастки;

- перевіряти розміри і правильність виготовлення форм, ливникових систем, вентиляційних каналів тощо;

- контролювати готові виливки після видалення їх із форми, очищення, термічного оброблення та фарбування відповідно до технічних умов на підставі аналізів і випробовувань в експрес-лабораторіях, в хімічних, механічних, металографічних лабораторіях та лабораторіях формувальних матеріалів і сумішей;

- перевіряти справність інструментів, приладів і пристроїв, які використовують для визначення показників якості;

- контролювати дотримання технологічних інструкцій, стандартів підприємства і інших нормативних документів.

Контролер повинен знати:

- технічні умови на виливки і матеріали, які використовують у ливарному виробництві;

- будову та призначення інструментів, пристроїв і устаткування для виготовлення ливарних форм та стрижнів;

- технологічні процеси виготовлення форм і стрижнів;

- правила перевіряння готових форм і стрижнів;

- допуски на розміри і масу виливків;

- характеристики шорсткості поверхні виливків;

- ливарну усадку та припуски на механічне оброблення;

- марки сплавів, з яких виготовляють виливки, і їх механічні властивості.

Контролер повинен постійно поглиблювати і удосконалювати свої знання з ливарної науки, технологій і устаткування, які використовують у цеху.

Особливу увагу приділяють організації робочого місця і праці контролера. Робоче місце (контрольний пункт) контролера повинне бути розташованим безпосередньо на дільниці, яку він обслуговує, і оснащене відповідними вимірювальними інструментами, приладами та пристроями різного призначення.

## 6.1 Контроль виробів вимірюванням

Контроль продукції ливарного цеху – виливків – здійснюють візуально, вимірюванням, порівнянням з еталонами, використанням руйнівних та неруйнівних методів тощо.

Найоб'єктивнішим є контроль вимірювання – знаходження значень фізичної величини за допомогою спеціальних технічних засобів.

Для визначення лінійних і кутових розмірів контрольованого об'єкта використовують усілякі технічні засоби, протаровані в певних одиницях фізичних величин, які називають вимірювальними приладами або пристроями.

Метрологічними показниками таких приладів є:

- **поділлка шкали** – проміжок між двома суміжними позначками шкали;
- **ціна поділки шкали** – різниця значень, які відповідають двом суміжним позначкам шкали;
- **діапазон показань** – область значень шкали, яка обмежена її початковим і кінцевим значенням;
- **межа вимірювань** – найбільше і найменше значення величин, які можуть бути виміряні конкретним приладом;
- **похибка вимірювання** – відхилення результату вимірювання від істинного значення величини, що вимірюють;
- **точність вимірювань** – якість вимірювань, яка характеризує ступінь наближення їх результатів до істинного значення величини, яку вимірюють.

Вимірюють номінальні, дійсні і граничні розміри виробу.

**Номінальним** розміром називають розмір, визначений конструктором або технологом і заданий креслеником (наприклад, 150 мм).

**Дійсним**, розміром називають розмір виробу, який визначений інструментом. Він здебільшого відрізняється від номінального, хоча і близький до нього (наприклад, 150,3 мм або  $150 + 0,3$  мм).

**Граничними** розмірами називають розміри, в яких може змінюватися дійсний розмір виробу без порушення його нормальної

експлуатації (наприклад,  $150 \pm 0,5$  мм). Різницю між найбільшим і найменшим граничними розмірами називають **допуском**. У нашому прикладі допуск дорівнює 1,0 мм.

Для визначення розмірів заготовки (виливка) або деталі використовують штангенінструменти (штангенциркулі, штангенрейсмуси), мікрометричні інструменти, індикатори годинникового типу, переносні інструменти, калібри, щупи, інструментальні і універсальні мікроскопи, проектори, вимірювальні машини.

Вимірювання шорсткості поверхні виробу здійснюють профілометрами, профілографами та оптичними приладами.

**Штангенінструменти** – універсальні вимірювальні пристрої, які широко використовують у промисловості і, зокрема, в ливарному виробництві для контролю розмірів під час виготовлення моделей, стрижневих ящиків, іншої оснастки та розмірів готових виливків.

Штангенінструменти складаються із штанг з основною шкалою і відлікового пристрою з ноніусом. Ноніус – допоміжна шкала на спеціальній лінійці інструменту, за якою відлічують долі поділок основної шкали. Шкала з ноніусом (ціна поділки 0,05 мм) наведена на рис.6.1. Відлік цілого числа міліметрів здійснюють за основною шкалою штанги, використовуючи як покажчик відліку нульову поділку ноніусної шкали.

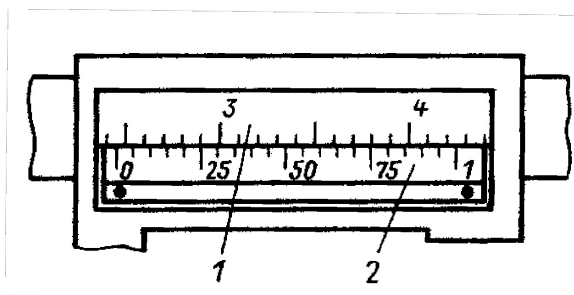


Рис.6.1. Будова шкали штангенінструмента з ноніусом: 1 – основна шкала; 2 – ноніус

поділка ноніуса і буде показувати долю, яку необхідно додати до цілого числа міліметрів.

Для вимірювань використовують штангенциркулі з ціною поділки 0,05 мм (рис.6.2, а) і 0,1 мм (рис.6.2, б) Перші використовують для визначення діаметрів виробів, які мають форму тіл обертання, і отворів у корпусних деталях. Другі можна використовувати для вимірювань уступів на виробі і глибини отворів. Штангенциркулі мають діапазон вимірювань від 125 до 2000 мм.

Штангенрейсмус використовують для вимірювання висоти виливка і його розмічування (рис.6.3). Замість рухомої губки цей інструмент має масивну основу і змінні ніжки: вимірювальну і розмічувальну.

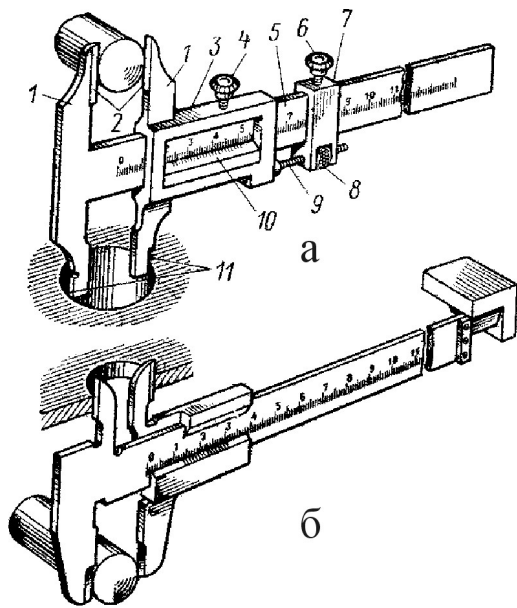


Рис.6.2. Конструкції штангенциркулів: а – ціна поділки – 0,05 мм; б – ціна поділки – 0,1 мм; 1 – губка; 2 – вимірювальна площина; 3 – рамка ноніуса; 4, 6, 9 – гвинти; 5 – штанга; 7 – хомутик; 8 – гайка; 10 – ноніус; 11 – вимірювальна поверхня для контролю внутрішніх розмірів

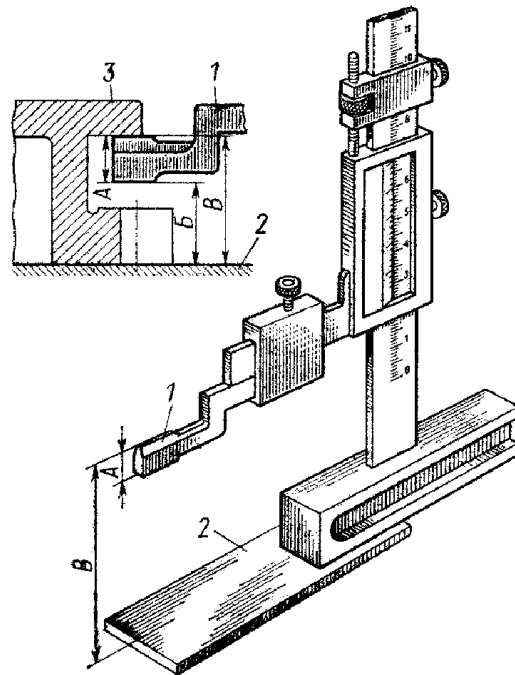


Рис.6.3. Штангенрейсмус: 1 – губка; 2 – розмічувальна плита; 3 – виливок; А – висота губки; Б – показання за шкалою штангенрейсмуса; В – контрольований розмір виливка

Вимірювання і розмічування здійснюють на розмічувальних плитах. Під час розмічування штангенрейсмус переміщують плитою, при цьому вістря розмічувальної ножки залишає на виливку риску. Розмір **В** виливка дорівнює **Б + А**.

Для вимірювання глибини паза, глухого отвору тощо використовують штангенглибиноміри.

Загальними вимогами до штангенінструменту є:

- відсутність будь-яких ушкоджень на вимірювальних поверхнях губок;
- плавність руху рамки ноніуса;
- збіжність під час поєднання губок штангенциркуля нульових позначок шкали ноніуса і основної шкали на штанзі.

**Мікрометр** – використовують для вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів (рис.6.4).

У всіх мікрометричних вимірювальних інструментах використовують гвинтову пару, яка перетворює обертовий рух мікрогвинта в поступальний рух губки. Крок нарізки мікрогвинтів усіх типів – 0,5 мм. Отже одному оберту гвинта відповідає переміщення губки на 0,5 мм. Барабан оснащений кільцевою шкалою з 50 поділками.

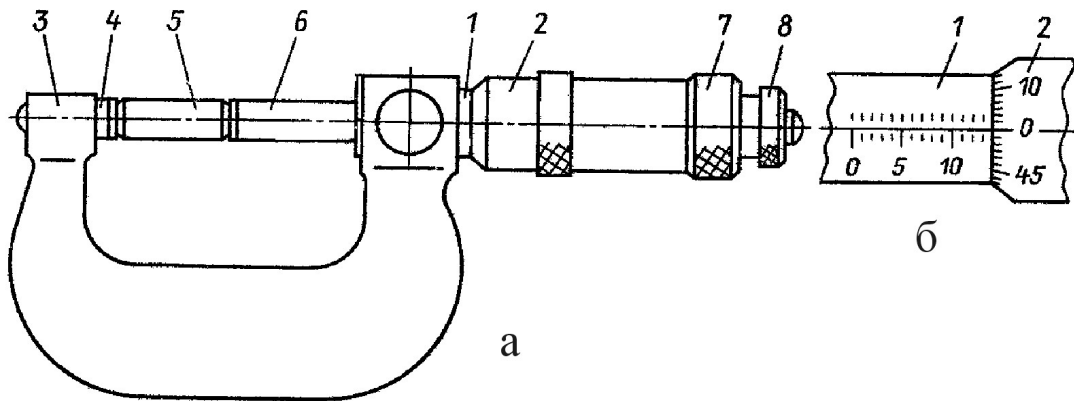


Рис.6.4. Мікрометр (а) і його шкала (б): 1 – стебло; 2 – барабан; 3 – скоба; 4 – п’ята; 5 – установлювальна міра; 6 – мікрогвинт; 7 – установочний ковпачок; 8 – тріскачка

Ціна поділки шкали на барабані 0,01 мм (10 мкм).

Під час вимірювання цілі числа відліковують за нижньою, половини міліметрів – за верхньою шкалою стебла. Соті долі міліметра відліковують за шкалою барабана за поділкою, яка співпадає з віссю поздовжньої шкали стебла. Хід вимірювальної губки мікрометричного інструменту - 25 мм. Довші гвинти мають знижену точність.

**Індикатор годинникового типу** – важільний прилад для контролю довжини зразка.

Індикатори (рис.6.5) мають невеликий діапазон вимірювань (до 10 мм), а тому їх використовують для відносних вимірювань, наприклад, під час нагрівання і охолодження виливка. Ціна поділки індикатора частіше – 0,01 мм, рідше – 0,001 мм. Принцип роботи індикатора полягає в тому, що лінійне переміщення вимірювального стрижня перетворюється в пропорційне кутове переміщення стрілок шкали.

Мікрометричні інструменти та індикатори годинникового типу частіше використовують для контролю розмірів точної ливарної оснастки – деталей прес-форм для лиття під тиском і виготовлення витоплених моделей, а також для контролю розмірів точних виливків під час відпрацювання технологічних процесів виробництва таких заготовок.

**Переносні вимірювальні інструменти** призначені для перенесення розмірів із вимірювальної лінійки на виріб або навпаки. Інструменти (рис.6.6.) використовують для точних вимірювань (точність 0,2...0,5 мм). Кронциркулі, нутромери, рейсмуси можуть мати шкали для відліковування розмірів. Переносні вимірювальні інструменти використовують модельники під час виготовлення моделей і стрижневих ящиків для переносу розмірів із вимірювальної лінійки або модельного щитка перед їх обробленням.

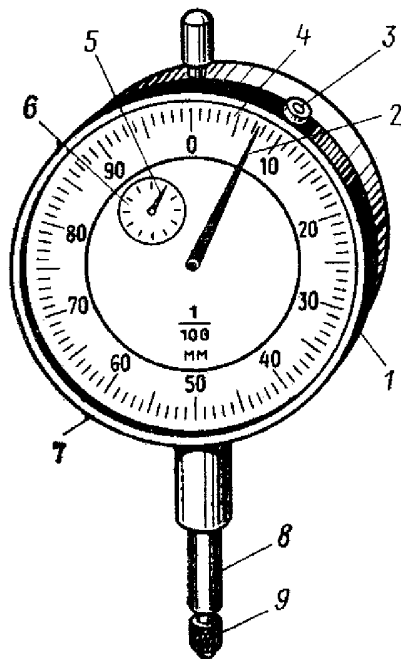


Рис.6.5. Індикатор годинникового типу: 1 – корпус; 2 – стрілка; 3 – стопор; 4 – вимірювальна шкала; 5 – стрілка покажчика; 6 – мала шкала; 7 – обідок для установлення нуля; 8 – вимірювальний стрижень; 9 – наконечник

**Щупи** – пластини товщиною від 0,02 до 1,0 мм, довжиною 100 і 200 мм (рис.6.8). Пластини виготовляють за першим або другим класом точності. Використовують щупи для контролю жолоблення моделей на модельній плитах, прилягання половинок стрижневого ящика по розніму тощо.

Для контролю шаблонів і калібрів використовують інструментальні і універсальні мікроскопи, вимірювання на яких здійснюють безконтактним методом.

**Калібри** – безшкальні вимірювальні інструменти для контролю розмірів, форми, просторового розташування поверхонь вилівка або готової деталі. Розрізняють калібри для перевірки отворів – пробки, нутромери і калібри для перевірки валів – скоби, шаблони для контролю глибини, висоти тощо (рис.6.7). Калібри повинні мати високу точність розмірів, а рухомі деталі необхідно виготовляти із зносостійких матеріалів. Вони повинні бути максимально жорсткими при мінімальній масі.

За призначеннями калібри розділяють на **робочі, контрольні і приймальні**. Робочі калібри використовують для контролю деталей на робочих місцях. Контрольними калібрами користуються контролери ВТК, приймальні калібри слугують для контролю деталей представником замовника.



Описані вимірювальні інструменти, прилади і пристрої використовують для контролю дерев'яних і металевих комплектів протягом усього технологічного процесу їх виготовлення, монтажу та експлуатації.

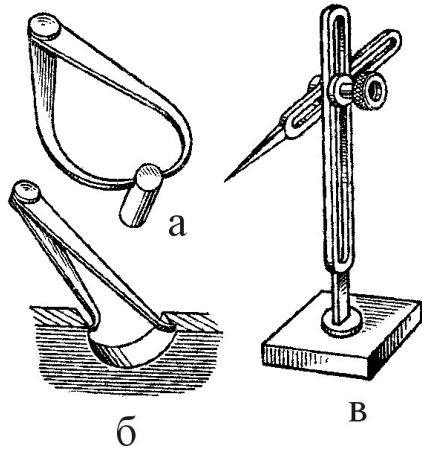


Рис.6.6. Переносні вимірювальні інструменти: а – кронциркуль; б – розсувний нутромір; в – рейсмус

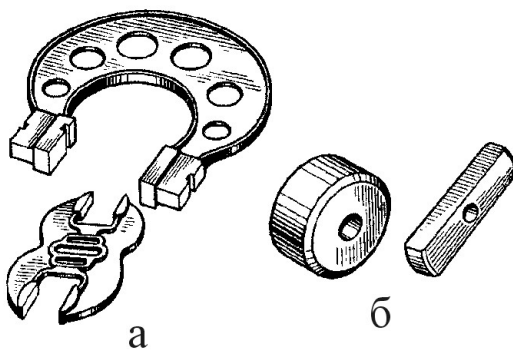


Рис.6.7. Калібри для контролю валів (а) і отворів (б)

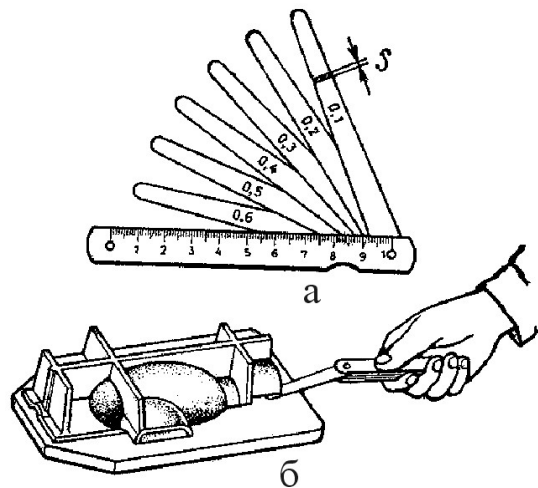


Рис.6.8. Вимірювальні щупи в обоймі (а) і перевіряння щупом жолоблення моделі (б)

## 6.2 Контроль формувальних матеріалів і сумішей

Основним компонентом формувальних і стрижневих сумішей є кварцовий пісок. Для оцінки його властивостей використовують стандартні методики контролю вмісту глинястої складової, гранулометричного складу, форми зерна. Методики забезпечують відповідними приладами (рис.6.9, 6.10).

Прилад для контролю гранулометричного складу піску має 11 сит діаметром 200 мм з різними розмірами вічок, мм: 2,50; 1,60; 1,00; 0,63; 0,40; 0,315; 0,20; 0,16; 0,10; 0,063 і 0,050. Відповідно до розмірів вічок

кожне сито має свій номер: 2,5; 1,6; 1; 063; 04; 0315; 02; 016; 01; 0063 і 0050.

Методика дає можливість розрахувати процентний вміст зерен піску різних розмірів, що дуже важливо для прийняття в подальшому заходів щодо попередження механічного пригару та виготовлення виливків з заданою шорсткістю поверхні.

На властивості формувальних і стрижневих сумішей суттєвий вплив справляє форма зерен піску.

Розрізняють піски із округлою, напівокруглою і гострокутною формою зерен.

Ступінь округлості піску залежить від мінералогічного складу і його походження.

Піски з округленими зернами сприяють покращанню газопроникності і міцності формувальних сумішей.



Рис.6.9. Прилад для визначення глинястої складової збовтуванням суспензії піску і обсипаємості сімуні



Рис.6.10. Прилад для контролю гранулометричного складу піску

Крім характеристик, регламентованих нормативними документами, визначають і їх технологічні властивості: насипну масу, вологість, газопроникність і вогнетривкість.

**Насипну масу** визначають за такою технологією: в посуду насипають пісок до певного рівня і зважують.

Висипають пісок, наливають у посудину воду до того ж рівня і знову зважують.

Насипну масу піску визначають за формулою:

$$\delta_{\text{нп}} = \frac{Q_1 - Q_3}{Q_2 - Q_3} \cdot \gamma, \quad (6.1)$$

де  $Q_1$  – маса посудини з піском, кг;

$Q_2$  – маса посудини з водою, кг;

$Q_3$  – маса посудини, кг;

$\gamma$  – щільність води, кг/м<sup>3</sup>.

**Вологість піску** контролюють за такою технологією: наважку піску (суміші) масою 50 г у спеціальній чашечці ставлять у прилад (рис.6.11), який оснащений електричною лампою потужністю 500 Вт. Після витримування протягом 6 хв. пісок (суміш) зважують і визначають вологість за формулою:

$$W = \frac{B - B_1}{B} \cdot 100, \quad (6.2)$$

де  $B$  – маса піску (суміші) до сушіння, г;

$B_1$  – маса піску (суміші) після сушіння, г.



Рис.6.11. Прилад для контролю вологості пісків і формувальних сумішей

### Газопроникність

– здатність піску або суміші пропускати повітря – особливо важлива характеристика і залежить від форми, гранулометричного складу піску, наявності в ньому домішок і інших факторів.

Контроль газопроникності пісків (сумішей) здійснюють за допомогою приладу (рис.6.12), пропускаючи через стандартний зразок повітря під певним тиском при 20°C. Внутрішній порожнистий циліндр з вантажем призначений для створення сталого тиску повітря.

Газопроникність визначають за формулою:

$$K = \frac{V \cdot h}{F \cdot P \cdot \tau}, \quad (6.3)$$

де  $V$  – об'єм повітря, яке пройшло через зразок, см<sup>3</sup>;

$h$  – висота зразка, см;

$F$  – площа поперечного перерізу зразка, см<sup>2</sup>;

$P$  – тиск повітря перед зразком, МПа (кг/см<sup>2</sup>);

$\tau$  – час проходження повітря через зразок, хв.

Газопроникність – безрозмірна величина.

**Вогнетривкість** контролюють нагріванням зразків до температури, наближеної до температури плавлення. У піч ставлять декілька зразків, які мають конфігурацію піраміди. Температуру, при якій зразок деформується настільки, що його вершина торкається поду печі, вважають вогнетривкістю зразка.

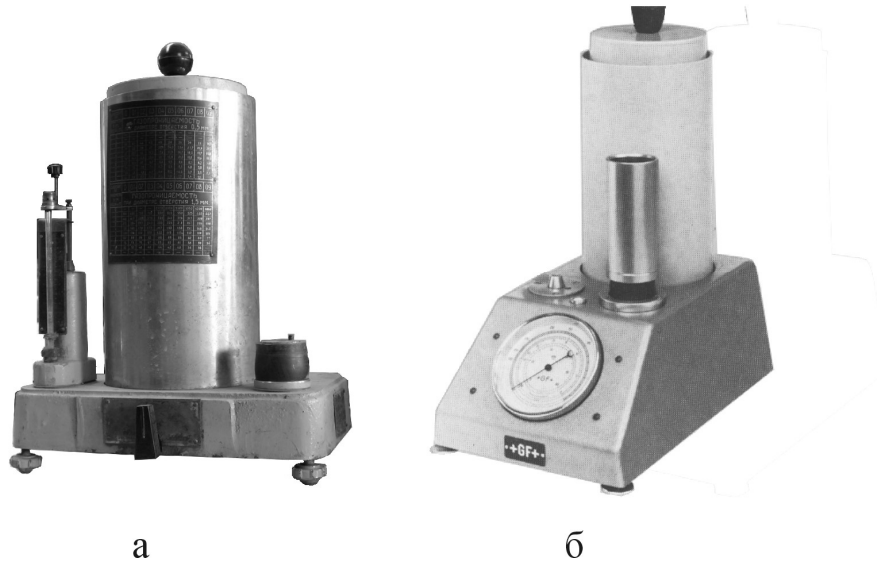


Рис.6.12. Прилад для контролю газопроникності пісків і сумішей: а – вітчизняного виробництва; б – фірми GF

Для досягнення необхідного рівня властивостей формувальних сумішей в їх складі повинні бути всі компоненти, обумовлені рецептурою, а тому наявність компонентів і їх кількість піддають ретельному контролю, звертаючи особливу увагу на дозування як сипких, так і рідких компонентів.

Властивості формувальних сумішей змінюються і через порушення визначеної послідовності додавання в змішувач компонентів та режиму перемішування.

Контролюють і час перемішування, оскільки його зменшення призводить до зниження якості суміші, а подовження – до зниження продуктивності сумішоприготувального устаткування.

У процесі приготування сумішей контролюють основні параметри: вологість, газопроникність, міцність у сирому і сухому стані.

Газотвірну здатність, міцність в умовах підвищених температур, прилипаємість, податливість і деякі інші властивості контролюють, переважно, під час розроблення нових рецептур сумішей.

Особливу увагу приділяють контролю вологості сумішей, оскільки вона є одним із важливих факторів, які суттєво впливають на ущільнення суміші.

Із збільшенням вологості ущільненість суміші покращується, але при цьому погіршується газопроникність. Для досягнення найвищої

міцності в сирому стані суміш повинна вмістити строго визначену кількість вологи.

Міцність суміші в сирому стані забезпечує можливість видалення моделі із півформи, транспортування півформи, збирання форми та заливання її металом.

Необхідно брати до уваги, що підвищена вологість суміші сприяє утворенню дефектів у виливках (ужимин, поруватості тощо). Методика визначення вологості суміші наведена раніше.

Газотвірність форми визначає умови виготовлення виливків без газових раковин і поруватості. Ця властивість суміші залежить від розмірів зерен піску, вмісту глини, температури металу, який заливають у форму і може суттєво змінюватися протягом робочої зміни. Отже контроль газотвірності суміші є обов'язковим.

Якість виливків, які виготовляють у піщано-глинястих формах, визначається і якістю використовуваних допоміжних формувальних матеріалів: фарб, паст, припилів, замазок тощо. Щільність фарб контролюють денсиметрами, а їх в'язкість віскозиметрами. Віскозиметр витікання мод.ВЗ-4 (рис.6.13) уявляє собою посудину місткістю 100 см<sup>3</sup> з діаметром отвору  $4 \pm 0,02$  мм.

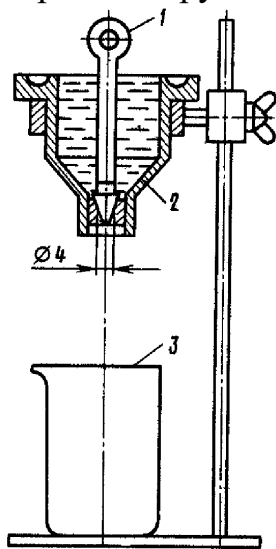


Рис.6.13. Віскозиметр мод.ВЗ-4: 1 – заглушка; 2 – воронка з досліджуваною рідиною; 3 – стакан

Окрім цього за спеціальними методиками контролюють седиментаційну стійкість (схильність до розшаровування) фарб, їх здатність змочувати і покривати робочі поверхні форм і стрижнів, тривалість висихання, термостійкість тощо.

За його допомогою визначають умовну в'язкість рідин і суспензій у межах 20...150 с.

Перед контролем воронку на штативі установлюють у вертикальне положення, закривають нижній отвір, наливають у воронку контрольовану рідину, відкривають отвір і одночасно запускають секундомір, за яким визначають час повного витікання рідини. Цей час у секундах і приймають за умовну в'язкість рідини або суспензії.

В'язкість паст контролюють віскозиметром із більшим діаметром отвору, через який і витікає паста (рис.6.14).

Усі наведені властивості матеріалів і сумішей контролюють в лабораторії формувальних матеріалів, яку розташовують у сумішопріготувальному відділенні ливарного цеху.

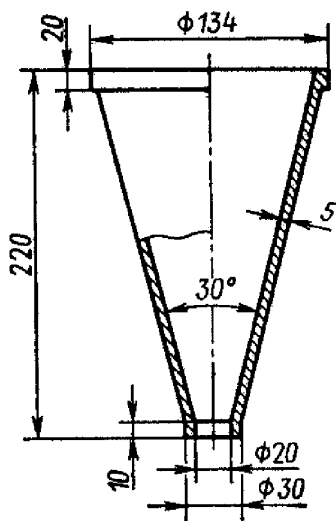


Рис.6.14. Воронка віскозиметра для контролю в'язкості паст

### 6.3 Контроль якості форм і стрижнів

Лабораторні випробування формувальних матеріалів, формувальних і стрижневих сумішей, незважаючи на велику кількість контрольованих показників і характеристик, повною мірою не гарантують, що реальна форма або стрижень будуть мати весь комплекс властивостей, необхідний для виготовлення якісних виливків. Тому, нарівні з випробуваннями

зразків, необхідно здійснювати додатковий контроль форм і стрижнів безпосередньо на дільницях їх виготовлення і збирання. Такий контроль повинен бути неруйнівним, оперативним і здійснюватися за допомогою технічних засобів, які можна використовувати безпосередньо на виробничих дільницях.

Виготовлення ливарних форм є багатоопераційним процесом, що збільшує вірогідність появи тих або інших дефектів.

Перед початком виготовлення форм або стрижнів контролюють за допомогою вимірвальних інструментів стан модельних комплектів і центрувальних елементів.

Під час виготовлення форм і стрижнів контролюють їх ступінь ущільнення за уявною щільністю. Недостатнє ущільнення форм і стрижнів призводить до утворення таких дефектів виливків, як пригар, нарости, спотворення геометричних розмірів тощо.

Ступінь ущільнення форм оцінюють декількома методами. Непряму оцінку здійснюють через визначення твердості робочої поверхні ливарної форми за допомогою твердомірів (рис.6.15). Інший спосіб – ступінь ущільнення оцінюють за результатами визначення явної щільності зразка, вирізаного із неробочої частини форми. Для вирізання зразка використовують трубчасту тонкостінну фрезу певних діаметра і висоти. Після вирізання зразок зважують, визначають його об'єм і розраховують уявну щільність. У випадку, коли зразок має довільну форму, використовують гравіметричний метод з парафінуванням зразка.

Ущільненість форми підвищується із збільшенням маси виливка, а твердість нижньої півформи повинна бути на 5...10 од. більшою, ніж верхньої, оскільки нижня півформа піддається металостатичному тиску з боку розплаву. Для визначення так званої глибинної твердості сирих форм використовують прилад PRS фірми GF, відомий під назвою Rammsonde (ударний зонд), рис.6.16.

Принцип вимірювання полягає у визначенні кількості ударів вантажу масою 60 г, який падає з висоти 50 мм, необхідних для занурення голки в ущільнений стандартний зразок або у вологу форму на одну поділку (15 мм). Голка може занурюватися на 8 поділок, тобто на глибину до 40 мм. Відношення кількості ударів (або витраченої енергії ударів у джоулях), необхідних для занурення голки на 8 поділок, до кількості поділок дає оцінку середньої твердості.

Під час оцінювання щільності форм і стрижнів за твердістю необхідно враховувати, що на останню суттєво впливає щільність суміші при стисканні, тому такі вимірювання можуть дати порівнянні результати тільки для сумішей однакового складу.

У тому випадку, коли здійснюють підсушування півформ, обов'язково контролюють товщину підсушеного шару. Не допускаються до збирання півформи із залишковою вологістю більше 0,5%. Такі півформи піддають повторному підсушуванню.

На ділянці виготовлення стрижнів контролюють стан стрижневих ящиків, кондукторів, шаблонів, періодично розміри стрижнів, якість поверхні тощо.

При використанні каркасів для зміцнення стрижнів контролюють їх положення в стрижні.

Каркаси не повинні перешкоджати усадці стрижня під час його сушіння або тверднення і не створювати перешкод усадці металу у виливку.

Особливо контролюють наявність, кількість та розташування підйомів у великих стрижнях.

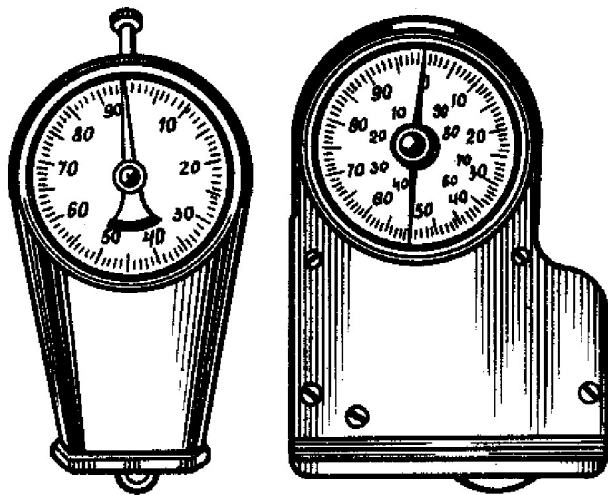
Якість пофарбованої поверхні стрижня контролюють візуально та вимірюванням товщини шару фарби на стрижні.

Стабільність властивостей стрижнів під час зберігання на складі оцінюють за зміною міцності зразків.

Умови зберігання зразків повинні відповідати цеховим або підтримуватися стабільними в кондиціонованій шафі.

Міцність вимірюють через 4, 8, 24 і 48 год. та 7 діб.

Як показник стабільності властивостей приймають час, за який міцність знижується до мінімально допустимої у відповідності з вимогами нормативного документа для даного технологічного процесу і стрижневої суміші.



а б

Рис.6.15. Твердоміри з кулькою для сирих (а) і з ножем для сухих (б) ливарних форм

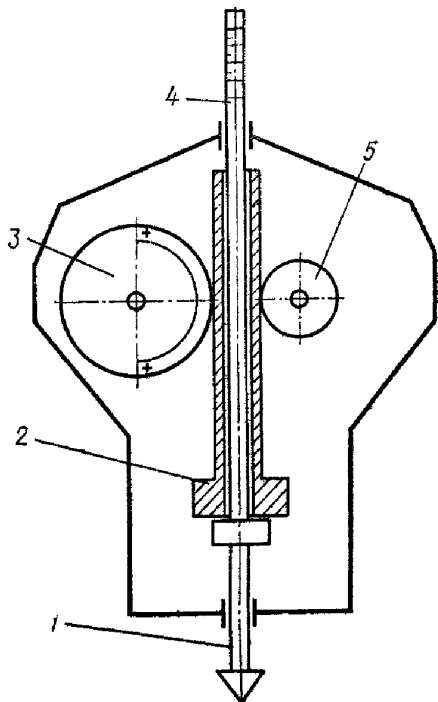


Рис.6.16. Схема ударного зонда (Rammsonde): 1 – голка; 2 – вантаж; 3 – ролик привода; 4 – шкала; 5 – притискальний ролик

заливанням їх металом контролюють наявність цього вантажу на формах або скріплюють останні скобами, болтами (здебільшого в умовах дрібносерійного і серійного виробництва) тощо.

В умовах масового виробництва вантаж на верхню півформу накладають за допомогою спеціального конвейера.

Необхідно відзначити, що у теперішній час розроблена величезна гама нових стрижневих сумішей для виготовлення високоміцних стрижнів різного призначення. Деякі суміші використовують для виготовлення стрижнів, які можуть зберігатися без втрати міцності декілька тижнів.

Змінюються і способи контролю властивостей стрижнів: розроблюються нові та удосконалюються стандартні методики.

Ретельному контролю піддають операцію збирання форм, особливо проставлення в форму стрижнів. Правильність виконання цієї операції контролюють спеціальними шаблонами.

В умовах конвейерного виробництва контроль просталення стрижнів здійснюють робочі, які виконують цю операцію, а контроль з боку працівників бюро технічного контролю цеху – періодичний.

Під час розроблення технологічного процесу виготовлення виливків розраховують масу необхідного вантажу для форм, а перед



Масу вантажу для форм без стрижнів розраховують за формулою:

$$Q_B = K_{\text{зап.}} \left[ H_{\text{в.ф.}} (F_B + F_{\text{лс}}) \cdot \gamma_M - g \right] \quad (6.4)$$

а із стрижнями:

$$Q_B = K_{\text{зап.}} \left[ H_{\text{в.ф.}} (F_B + F_{\text{лс}}) \cdot \gamma_M + (\gamma_M - \gamma_{\text{ст}}) \cdot V_{\text{ст}} - g \right] \quad (6.5)$$

де  $K_{\text{зап.}}$  – коефіцієнт запасу, який враховує металостатичний удар,  $K_{\text{зап.}} = 2 \dots 4$ ;

$H_{\text{в.ф.}}$  – висота верхньої півформи, см;

$F_B$  – площа горизонтальної проекції вилівка на площину розніму форми, см<sup>2</sup>;

$F_{\text{лс}}$  – площа ливникової системи в рознімі форми, см<sup>2</sup>;

$\gamma_M$  і  $\gamma_{\text{ст}}$  – щільність металу і стрижнів, г/см<sup>3</sup>;

$V_{\text{ст}}$  – об'єм стрижня без знаків, см<sup>3</sup>;

$g$  – маса верхньої півформи, г.

Здійснення такого контролю якості форм і стрижнів попереджає брак виливків, підвищує рівень технологічної дисципліни на дільницях виготовлення півформ і стрижнів та збирання форм.

#### 6.4 Контроль якості шихтових матеріалів і сплавів

Якість рідкого металу, вихід придатного литва, продуктивність плавильної печі та собівартість готової продукції залежать від кондиційності шихтових матеріалів, технологій їх приготування та плавлення.

Основними завданнями контролю якості шихтових матеріалів для виплавлення будь-яких сплавів є визначення походження всіх складових шихти. Кожний компонент повинен вмістити лише допустиму кількість шкідливих домішок.

Хімічний склад ливарних і переробних чавунів, феросплавів, металів, лігатур тощо повинен відповідати чинним нормативним документам на ці матеріали.

Зворот власного виробництва використовують тільки після очищення від пригару, тому серед устаткування дільниці підготовки шихти повинен бути дробометний барабан або інші механізми для очищення.

Особливу увагу на підприємстві приділяють вхідному контролю шихтових матеріалів, який здійснюють за певними правилами приймання: перевіряння наявності і стану всіх супроводжувальних документів, які надходять разом з вантажем; контроль наявності бирок, клейма, маркування тощо; відбір проб для контролю матеріалу на

відповідність змісту супроводжуваного документа; контроль за розвантажуванням матеріалів; складання відповідних актів тощо.

З метою перевіряння правильності зберігання шихтових матеріалів на складах і майданчиках здійснюють періодично інспекторський контроль.

Склад шихти залежить від методу плавлення, хімічного складу сплаву і визначається технологічною інструкцією на плавлення того або іншого сплаву.

Важливою операцією підготовки шихти, яку постійно контролюють, є зважування останньої.

Неточне дозування складових шихти може призвести до утруднень виплавлення металу заданого хімічного складу, до порушення ливарних, механічних та експлуатаційних характеристик сплаву.

Якість металевої шихти характеризується її об'ємною масою. Практика підтверджує, що найкращі показники роботи плавильних агрегатів мають місце при максимально можливій об'ємній масі шихти, наприклад, для виплавлення сталей у дугових електродних печях – 3,0...4,5 т/м<sup>3</sup>.

Виплавлення будь-якого сплаву регламентоване певною послідовністю виконання операцій і періодів, які контролює сталевар або плавильник. Такий контроль дає можливість економити електроенергію, електроди, футеровку, робочий час, зменшувати угар дорогих і дефіцитних компонентів сплаву та підвищувати продуктивність плавильного агрегату.

Якість вилівка визначається не тільки зовнішнім виглядом, а і його внутрішнім змістом: структурою, відсутністю дефектів, властивостями, тобто здатністю працювати тривалий час з високою надійністю. Проте якісний вилівок не виникає сам по собі. Він формується, перш за все, через ливарні властивості сплаву, з якого його виготовляють, взаємодію металу з ливарною формою, термічне оброблення вилівка тощо.

Надійність та довговічність експлуатації литої деталі визначають її механічні і спеціальні властивості, середовище та умови, в яких працює механізм.

Вирішальний вплив на ливарні властивості справляє температура перегрівання сплаву, яка забезпечує оптимальну рідкотекучість, малу усадку, високу тріщиностійкість тощо.

Температуру сплаву в плавильному агрегаті контролюють за допомогою термопар занурення з кварцовим наконечником. Під час випускання металу із печі та заливання його в ливарні форми температуру визначають оптичними або радіаційними пірометрами (п.4.3.11).

**Рідкотекучість** – здатність рідкого металу заповнювати порожнину ливарної форми та відтворювати найбільш тонкі обриси її, а також

забезпечувати хороше живлення вилівка під час його тверднення – краще контролювати через визначення готовності металу до випускання із печі за допомогою технологічних проб, розроблених кафедрою ливарного виробництва чорних і кольорових металів НТУУ «КПІ», рис.6.17.

Оцінку готовності металу до випускання здійснюють за заповненням розплавом певного променя клиноподібної проби або діаметра голки, визначених для конкретного сплаву з урахуванням товщини стінки вилівка.

Технологічні проби суттєво спрощують операцію визначення рідкотекучості в порівнянні із використанням спіральної або іншої проби.

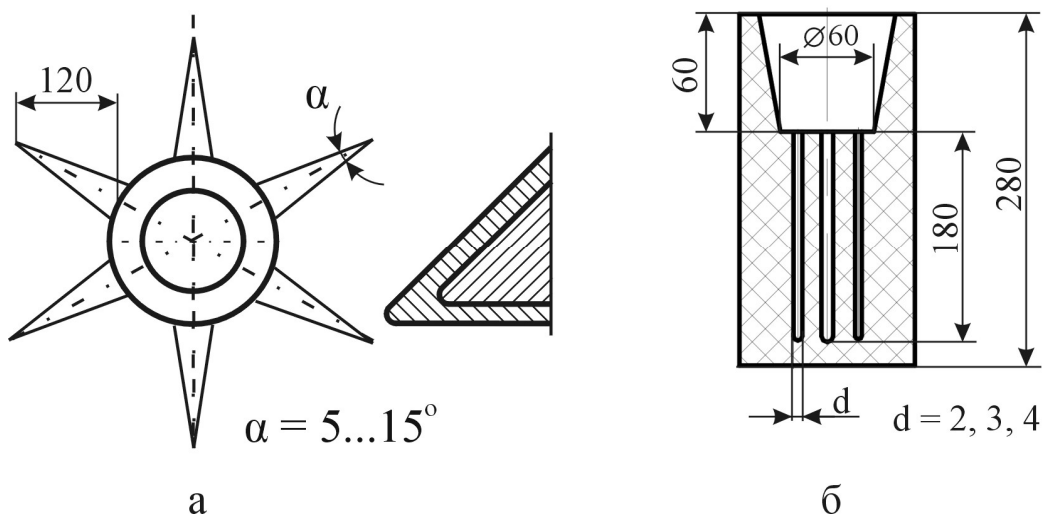


Рис.6.17. Технологічні проби для визначення готовності металу до випускання із плавильного агрегату: а – клиноподібна; б – голчаста

Для визначення рідкотекучості сплавів під час виконання науково-дослідних робіт найкращою пробою є спіраль Кері трапецієподібного перерізу. Для забезпечення сталих умов заливання форм рідким металом використовують ливникову чашу 1 спеціальної конструкції, рис.6.18. Маса металу, яку заливають у чашу, становить 5,5 кг.

У форму метал підводять від периферії до її центра.

Ливникова чаша 1 має перегородку 2, яка жорстко змонтована на сталевому звареному каркасі 3. Перегородка відокремлює ливниковий хід від металоприймача чаші і піднімається електромагнетом 4 тільки тоді, коли металоприймач заповнюється розплавом до розрахункового рівня і встановлюється необхідна температура металу, яку контролюють термопарою 6. Упор 5 обмежує рух штанги електромагнету, що забезпечує однакову в кожному досліді висоту щілини між порогом металоприймача чаші та перегородкою. Щілина має висоту 20 мм і забезпечує сталий металостатичний напір у кожному досліді.

Для кожного сплаву використовують відповідну термопару і вторинний прилад. Наприклад, для визначення рідкотекучості сплавів на основі заліза (чавунів і сталей) використовують вольфрам-ренієву термопару з кварцовим наконечником і приладом ЕПП-09-3М.

**Усадку сплаву** – одну із основних ливарних властивостей, які визначають технологічний процес виготовлення якісної вилівка заданої конфігурації, – визначають багатьма методами з використанням різної конструкції датчиків, проте найдостовірніші результати дає методика, запропонована кафедрою ливарного виробництва чорних і кольорових металів НТУУ «КПІ».

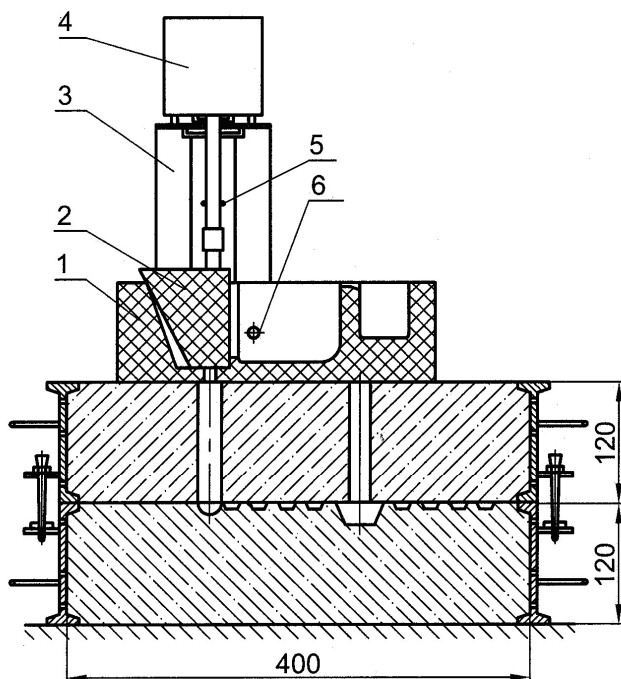


Рис.6.18. Форма для визначення рідкотекучості сплавів при сталому металостатичному напорі: 1 – ливникова чаша; 2 – перегородка; 3 – каркас; 4 – електромагнет; 5 – упор; 6 – термопара

який кристалізується у формі 2, в той же час, коли другий кінець зразка затиснений стержнем 3. Усі елементи установки змонтовані на литому корпусі 8, який встановлений на жорстку підставку 9.

Температуру зразка вимірюють за допомогою вольфрам-ренієвої термопары 4, яка кріпиться на гнучкій штанзі, закріпленій на корпусі 8. Сигнал від датчика записується на діаграмі потенціометричного двокоординатного самозаписувача Н-703 у функціональній залежності  $E_{\text{д}} = f(t^{\circ}\text{C})$ .

Методика базується на перетворенні лінійних змін досліджуваного зразка під час його усадки в пропорційну зміну електричної напруги за допомогою потенціометричного датчика лінійних переміщень. Принципова схема такого датчика наведена на рис.6.19, а загальна схема установки для визначення лінійної усадки – на рис.6.19, б.

Напруга на виході із датчика 7 змінюється під час переміщення його рухомої траверси, яка механічно зв'язана за допомогою тяги 6 і рухомого стержня 5 з одним із кінців зразка,

Датчик живиться від джерела постійного струму напругою 1,2 В. Для визначення лінійної усадки використовують призматичні зразки розмірами 200 x 25 x 30 мм, які одержують у формі 2.

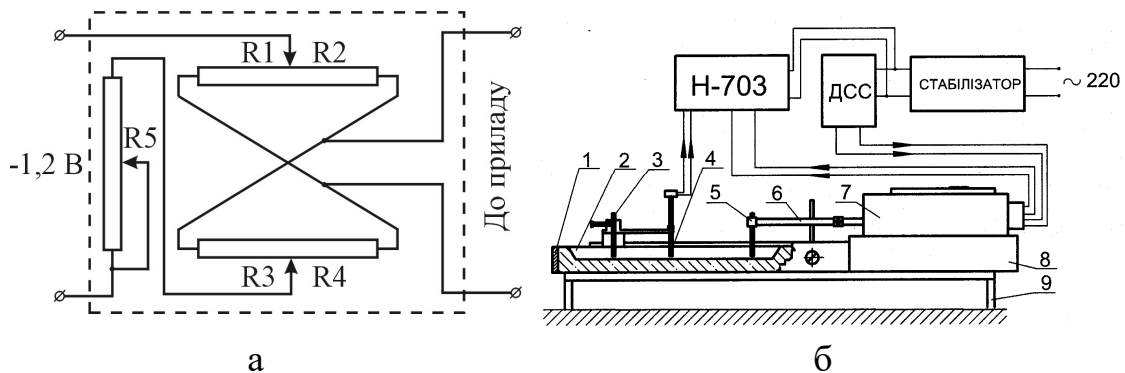


Рис.6.19. Принципова схема датчика лінійних переміщень (а) та загальна схема установки для визначення лінійної усадки сплавів (б): 1 – опока; 2 – форма; 3 – нерухомий стержень; 4 – термопара; 5 – рухомий стержень; 6 – тяга; 7 – датчик; 8 – корпус установки; 9 – підставка

**Тріщиностійкість** сплавів визначають за допомогою кільцевої технологічної проби (рис.6.20), яка розроблена ФТІМС НАН України і вдосконалена кафедрою ливарного виробництва НТУУ «КПІ».

Для гальмування усадки кільця в процесі тверднення стрижень виготовляють із неподатливої суміші (96% кварцового піску і 4% рідкого скла). Критерієм тріщиностійкості сплаву є площа тріщини ( $\text{мм}^2$ ), яка утворюється на внутрішній поверхні потовщеної частини кільця.

Для визначення площі тріщини поверхню проби на місці утворення тріщини ретельно зачищають, змащують чорнилом або тушшю, накладають на неї масштабно-координатний папір і щільно притискають.

За одержаним відбитком визначають площу тріщини підрахуванням клітинок паперу.

Методика визначення механічних властивостей сплавів, мета-логографічних досліджень структури металів і неметалевих вкраплин наведені в підрозділі 4.2.

Хімічний склад сплавів контролюють традиційним (хімічним) і спектральним експрес-аналізом, відбираючи проби декілька разів протягом плавлення та доведення металу до заданих хімічного складу і температури.

Для проведення хімічних аналізів передбачені відповідні нормативні документи, які регламентують послідовність їх проведення. Проведення аналізів в умовах масового виробництва виливків з однотипних сплавів здійснюють з використанням сучасної техніки – квантометрів (ДОС-36, МФС-8) у поєднанні з обчислювальною технікою.

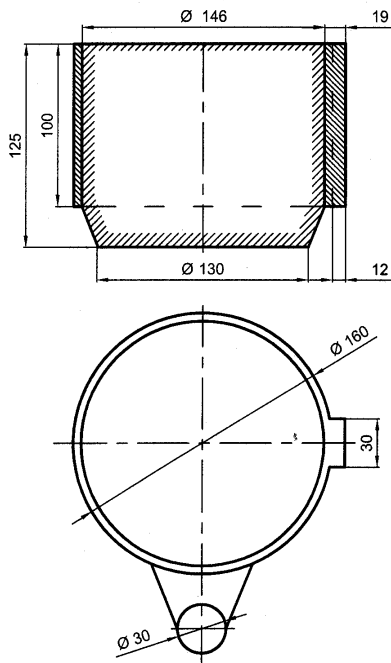


Рис.6.20. Технологічна проба для визначення схильності сплавів до утворення гарячих тріщин

Контроль за виконанням фінішних операцій (видалення стрижнів і каркасів із виливків, відокремлення елементів ливникової системи, очищення і зачищення виливків, термічне оброблення, повторне очищення, ґрунтування) здійснюють майстри і робітники протягом зміни, а періодично – контролери бюро технічного контролю цеху.

Слід зазначити, що термічне оброблення є практично останньою операцією технологічного процесу виготовлення литих деталей і його треба завжди виконувати відповідно до вимог чинних нормативних документів. Термічні печі повинні бути обладнані сучасними засобами автоматизації та приладами і пристроями для програмного керування температурними режимами нагрівання виливків і їх витримання при заданих температурах.

## 7 СУЧАСНІ ПРИЛАДИ, ЗАСОБИ І МАТЕРІАЛИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОМИСЛОВОЇ ПРОДУКЦІЇ НЕРУЙНІВНИМИ МЕТОДАМИ

З виходом українських промислових підприємств на міжнародні ринки перед вітчизняними виробниками постають нові задачі щодо забезпечення якості експортної продукції, оскільки іноземні замовники вимагають точної відповідності продукції міжнародним стандартам у системах ISO та ASTM. Це змушує українських виробників виконувати більш жорсткі вимоги щодо контролю якості продукції.

Відповідно до результатів останніх зарубіжних досліджень [29] більше 80% компаній, в яких здійснювали опитування, використовують європейські і міжнародні стандарти у власній стратегії неруйнівних методів контролю для того, щоб забезпечити погодження використовуваних ними стандартів з нормативними документами, прийнятими в інших державах. Цей прогрес зумовлює більш широке використання методів контролю якості як матеріалів, так і деталей та вузлів машин і механізмів, відповідальних інженерних конструкцій тощо в процесі їх виготовлення для сертифікації кінцевого продукту виробництва.

Нижче наведені найсучасніші прилади, засоби та матеріали для контролю якості промислової продукції неруйнівними методами.

### 7.1 Візуально-оптичний контроль



Рис.7.1. Загальний вигляд відеоскопа Olympus IPLEX

Відеоскоп **Olympus IPLEX** – найновіший інструмент візуального контролю, який розроблений з урахуванням останніх досягнень оптики, точної механіки і комп'ютерної техніки та рекомендацій провідних спеціалістів у галузі неруйнівного контролю.

Прилад дає можливість здійснювати комплексний візуальний контроль, вимірювати виявлені за допомогою ендоскопа дефекти і документувати результати огляду з результатами вимірів на картах (до 4800 знімків на

одній карті) або на персональному комп'ютері, повторно переглядати зображення і здійснювати багаторазові обміри.

Результати огляду і вимірювань можна виводити у вигляді звіту з текстовими і фотографічними коментарями.

#### **Основні особливості і технічна характеристика приладу:**

- діаметри ендоскопа – 4,4 і 6,0 мм;
- довжина робочої частини ендоскопа – від 3500 до 9600 мм;
- висока яскравість джерела світла;
- автоматичне і ручне регулювання електронного підсилювача сигналу і часу експозиції;
- високі розрізнявальна здатність, контрастність і передавання кольорів, велика глибина різкості зображу;
- великий вибір змінних об'єктивів з різними кутами поля зору і напрямом огляду (40...220 град., прямий і боковий огляд);
- мінімальне оптичне викривлення поля зору;
- герметична, термостійка (-25...+80°C) і міцна робоча частина;
- сучасна ергономіка;
- висока експлуатаційна надійність (до 10000 циклів згинання ендоскопа);
- висока достовірність вимірювань дефектів (похибка не більше 5%);
- джерело живлення з автоматичним визначенням вхідної напруги (постійний струм 12...30 В або мережа змінного струму 100...230 В частотою 50, 60, 400 Гц);
- можливість роботи в режимі жорсткого ендоскопа з використанням спеціальних незгинних напрямівних трубок.

## **7.2 Капілярний контроль**

Використання кольорових контрастних пенетрантів фірми **СНЕСКМОР** – зручний і економічний метод виявлення тріщин та інших дефектів, які виходять на поверхні виробів, виготовлених із різних металевих матеріалів, пластмас та інших непористих матеріалів.

Технологічний процес капілярного контролю з використанням сучасних дефектоскопічних матеріалів здійснюють у такій послідовності:

- попереднє очищення поверхні виробу з використанням очищувача S72;
- нанесення на контрольовану поверхню виробу водозмивного (СНЕСКМОР 200) або змивного (СНЕСКМОР 222) органічним розчинником пенетранта;



- змивання надлишку пенетранта (CHECKMOR 200) водою за допомогою спеціального пістолета або видалення надлишку пенетранта (CHECKMOR 222) серветкою, змоченою очищувачем S72;
- сушіння виробу після змивання надлишку пенетранта (CHECKMOR 200) водою;
- нанесення на контрольовану поверхню проявника LD3;
- розшифровування індикаторних рисунків візуально або з використанням ультрафіолетового опромінювача.

**Дефектоскопічні матеріали. Кольорові пенетранти фірми CHECKMOR** – економічно ефективні та гнучкі у використанні матеріали для контролю стаціонарного устаткування і великогабаритних деталей в енергетиці, зварових швів нафтового, газового і хімічного устаткування, в суднобудуванні, ливарному і ковальському виробництві. Поставляють в аерозольних балонах об'ємом 400 мл, а також у вигляді готових до використання рідин у посуді великого об'єму (до 200 л) та концентратів для розведення водою.

**Набір матеріалів для капілярної дефектоскопії:**

- CHECKMOR 200 – пенетрант, надлишки якого з контрольованої поверхні видаляють водою або розчинником;
- CHECKMOR 222 – пенетрант, надлишки якого видаляють органічними розчинниками;
- очищувач S72 – на основі вуглеводневих дисциляторів;
- проявник LD3 – сорбційний, на спиртовій основі.

**Люмінесцентні пенетранти BRITEMOR** – характеризуються найвищою дефектоскопічною чутливістю через яскраво-жовту люмінесценцію матеріалів під час ультрафіолетового освітлення.

Матеріали використовують як у стаціонарних установках для контролю найбільш відповідальних деталей і вузлів літальних апаратів, авіаційних та автомобільних двигунів, лопаток газових турбін тощо, так і у вигляді зручних у використанні аерозолей для контролю великогабаритних виробів та їх окремих частин.

**Набір матеріалів для люмінесцентної капілярної дефектоскопії:**

- BRITEMOR 4455 – водозмивний пенетрант;
- BRITEMOR 600 – пенетрант, надлишки якого видаляють органічними розчинниками;
- очищувач S72 на основі вуглеводневих дисциляторів;
- проявник LD5 – дифузійний, прозорий для ультрафіолетового опромінювання контрольованої поверхні.

**Високоякісні матеріали для капілярної дефектоскопії фірми ARDROX** – відповідають вимогам міжнародних стандартів і стандартів підприємств світового рівня.

Матеріали призначені для флуоресцентного і червоно-білого методів капілярного контролю.

Основні галузі використання: авіаційна, автомобілебудування, машинобудування, атомна промисловість, ливарне виробництво, приладобудування, металургія, суднобудування, електротехніка тощо.

Контролю піддають вироби, виготовлені із легованих і нелегованих сталей, чавунів, алюмінієвих і титанових сплавів, кераміки, твердих і металокерамічних матеріалів, пластмас, а також зварових з'єднань.

Високочутливі (I і II рівень чутливості) флуоресцентні водозмивні пенетранти серії 970P (ARDROX 970P22...ARDROX 970P25) використовують для контролю клапанів, литва, циліндрів, компонентів підйомних засобів, деталей автомобільної і авіакосмічної галезей, зварових швів теплообмінювачів тощо.

Високоєфективні флуоресцентні емульгівні пенетранти (I...IV рівень чутливості) серії 985P (ARDROX 985P11...ARDROX 985P14) використовують для контролю швів поршневих циліндрів, литих і кованих заготовок, колінчастих валів, лопаток турбін та інших відповідальних і особливо відповідальних вузлів авіаційних двигунів та космічної техніки.

**Набір дефектоскопічних матеріалів фірми OVERCHECK** (робочий інтервал температур від + 7 до + 55°C) – за висновками провідних галузевих матеріалознавчих організацій атомної і авіаційної галузей можна використовувати за I...III класами чутливості.

**Пенетрант OVERCHECK RED** – дає можливість з дуже високою чутливістю виявляти найдрібніші поверхневі дефекти, не вмістить азобарвників і ароматизованих розчинників, легко змивається водою, можна використовувати для контролю люмінесцентним методом із застосуванням ультрафіолетового освітлення.

**Очищувач OVERCHECK CLEANER** – екологічно безпечний розчинник-очищувач, миттєво випаровується і не залишає на контрольованій поверхні виробу осадка.

**Проявник OVERCHECK WHITE** – розчин дрібнозернистого білого порошку в розчиннику, не вмістить ароматичних добавок.

Постачання продукції здійснюють в аерозольних балонах, каністрах і бочках. Гарантійний термін зберігання продукції в аерозольній упаковці – 5 років, у каністрах і бочках – 3 роки.

**Дефектоскопічні матеріали фірми ZYGLO** – це повний ряд високоякісних пенетрантів, емульгаторів, очищувачів і проявників від світових лідерів у сфері неруйнівних методів контролю; мають п'ять

рівнів чутливості та кольорове кодування для додержування правильної послідовності використання під час здійснення контролю.

**Ультрафіолетові опромінювачі для люмінесцентного капілярного і магнетопорошкового контролю:**

– **УФ опромінювач високої інтенсивності, мод.СН-50Р/12** (рис.7.2) – режим «Миттєвого увімкнення» дає можливість здійснювати обстеження контрольованої поверхні безпосередньо після натискання кнопки без прогрівання; має удароміцний корпус з максимальними розмірами 130 x 190 мм, що дає можливість працювати в обмеженому просторі; блок живлення – акумуляторне джерело на 12 В, що забезпечує використання УФ опромінювача в польових умовах;

– **УФ опромінювач високої інтенсивності з вентилятором мод. FC-150** (рис.7.3) – стійкий до перегрівання, оскільки вентилятор суттєво зменшує робочу температуру, дає можливість швидко перезапускати опромінювач, забезпечує безпеку і зручність в експлуатації; має високу інтенсивність ( $4500 \text{ мкВт/см}^2$ ), а тому на відстані до 380 мм забезпечує оптимальну видимість і гарантує достовірність контролю; маса опромінювача – 1,6 кг; живлення від мережі змінного струму напругою 220 В;



Рис.7.2. Загальний вигляд УФ опромінювача мод. СН-50Р/12



Рис.7.3. УФ опромінювач FC-150 з вмонтованим в нього вентилятором

– **компактний УФ опромінювач мод. AP-400** (рис.7.4) – призначений для контролю труднодоступних поверхонь особливо відповідальних виробів – лопаток турбін, внутрішніх поверхонь труб малого діаметра тощо; маса повного комплекту з акумулятором – 2,8 кг; інтенсивність на відстані 24 мм –  $1800 \text{ мкВт/см}^2$ ; тривалість роботи без перезарядження акумуляторів – 40 год.;

– **ручні УФ опромінювачі серії Е** (рис.7.5) – найбільш потужні серед опромінювачів такого типу. Повний асортимент із 30 моделей передбачає різні комбінації довжин УФ хвиль, інтенсивності, розмірів і потужностей. Особливістю УФ опромінювачів цієї серії є алюмінієвий корпус, анодований сріблом, що зміцнює опромінювач. Корозійностійкий, дзеркальний алюмінієвий відбивач забезпечує максимальну УФ ефективність контролю;



Рис.7.4. Компактний УФ опромінювач мод. AP-400



Рис.7.5. Ручний УФ опромінювач ENF-240C

– **стаціонарний УФ опромінювач мод. UV-400** (рис.7.6) – найпотужніший панорамний ультрафіолетовий опромінювач для неруйнівного контролю, забезпечує сталу інтенсивність  $6500 \text{ мкВт/см}^2$  на відстані 380 мм та широке поле розсіювання – може рівномірно опромінювати поверхню



Рис.7.6. Стаціонарний УФ опромінювач мод. UV-400

розміром 610 x 250 мм; універсальний для люмінесцентного капілярного та магнетопорошкового контролю, контролю знежирювання деталей і мийних станцій; на відміну від інших опромінювачів має подвійну систему фільтрації і захищає користувачів від небезпечних УФ- $\beta$  променів. Габаритні розміри опромінювача 380 x 300 x 300 мм, маса – 16,3 кг. Відповідає військовим і промисловим вимогам;

- **ультрафіолетовий опромінювач мод. MR 45** (рис. 7.7) – опромінювач підвищеної інтенсивності, використовують для люмінесцентних методів капілярного і магнето-порошкового контролю.

Фільтр, який використаний в опромінювачі, забезпечує пропускання УФ спектра в діапазоні 340...410 нм, що відповідає спектру довгих хвиль (пік 365 нм), характерному для люмінесцентних матеріалів.

Фільтр повністю нейтралізує випромінювання коротких хвиль і мінімізує інтенсивність середнього діапазону.



Рис.7.7. Загальний вигляд УФ опромінювача мод. MR 45

Потужна лампа опромінювача забезпечує інтенсивність вихідного спектра випромінювання  $45 \text{ Вт/м}^2$  на відстані 400 мм.

Доповнення наведених показників інтенсивності іншими характеристиками – маса 1450 г, безпечна напруга 12 В, наявність зручної рукоятки і чотирьохпозиційної підставки – підтверджують перспективність використання цього опромінювача під час прове-

дження капілярного і магнетопорошкового контролю.

Для забезпечення живлення 12-вольтової лампи опромінювача передбачені такі комплектації приладу:

- із зовнішнім пристроєм – знижувальним трансформатором. Живлення від мережі 220 В;
- з набором акумуляторних батарей.

### 7.3 Магнетний контроль

**Удосконалений дефектоскоп ПМД-70 (МД-70ПК-111У)** – (див. рис.4.45) призначений для виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів у виробах із феромагнетних матеріалів з відносно невеликою магнетною проникністю магнетопорошковим або магнетолюмінесцентним методом і відноситься до переносних спеціалізованих засобів магнетного контролю.

Дефектоскоп можна використовувати в цехових, лабораторних або польових умовах, а виявлення дефектів здійснювати двома способами контролю: на залишковій намагнетованості і в прикладеному магнетному полі з автоматичним розмагнетовуванням виробу після контролю. Прилад забезпечує шість схем намагнетовування виробу трьома

способами – циркулярним, полюсним, комбінованим – з застосуванням чотирьох форм струмів.

Дефектоскоп дає можливість піддавати контролю різні за геометрією деталі, зварові шви, внутрішні поверхні отворів через намагнетовування окремих частин виробу або цілком циркулярним і поздовжнім способом з використанням набору намагнетовувальних пристроїв, які живляться імпульсами струму (електроконтакти, гнучкий кабель), а також постійним струмом (електромагнет, соленоїд). Технічна характеристика дефектоскопа наведена в табл.7.1.

Таблиця 7.1. Технічна характеристика дефектоскопа ПМД-70 (МД-70ПК-111У)

Інд. поз.	Найменування параметра	Числове значення
1	Поріг чутливості: дефект шириною, мкм довжиною, мм	2,0 0,5
2	Локальність контролю, не менше, мм <sup>2</sup>	1,25·10 <sup>9</sup>
3	Розрізнявальна здатність, не більше, мм	10
4	Неконтрольована зона, не більше, мм	5
5	Максимальна напруженість магнетного поля в середині повітряного зазора між полюсними наконечниками електромагнета при відстані між ними 100 мм, не менше, А/м	16·10 <sup>3</sup>
6	Максимальна напруженість магнетного поля в центрі соленоїда, не менше, А/м	16·10 <sup>3</sup>
7	Габаритні розміри, мм блок імпульсний блок управління	580x235x230 305x215x190
8	Маса дефектоскопа, кг блок імпульсний блок управління	25 5
9	Живлення, В	220 (~) 24 (-)

**Дефектоскоп для магнетопорошкового контролю, рознімний, мод. МД-13ПР** (рис.7.8) – призначений для виявлення поверхневих поперечних тріщин у середній частині осей вагонних колісних пар.

Основні технічні показники:

- діаметр робочого отвору – 240 мм;
- ефективний струм намагнетовування – 1320 А;

– поріг чутливості:

ширина розкриття дефекту	– від 0,02 мм;
простяжність	– від 5 мм;
– розрізнявальна здатність	– не більше 10 мм;
– напруженість магнетного поля магнетувального пристрою	– 16000 А/м <sup>2</sup> ;
– напруга живлення	– ~ 220 ± 10% В;
– габаритні розміри блока управління	– 395x180x340 мм;
– маса блока управління	– 14 кг;
– габаритні розміри магнетувального пристрою	– 360x76x330 мм;
– маса блока контролю	– 82 кг.

Для виявлення поверхневих поперечних тріщин у зовнішніх та внутрішніх шийках осей локомотивних колісних пар використовують дефектоскопи МД-12ПЭ (рис.7.9), МД-12ПС (рис.7.10), МД-12ПШ (рис.7.11).

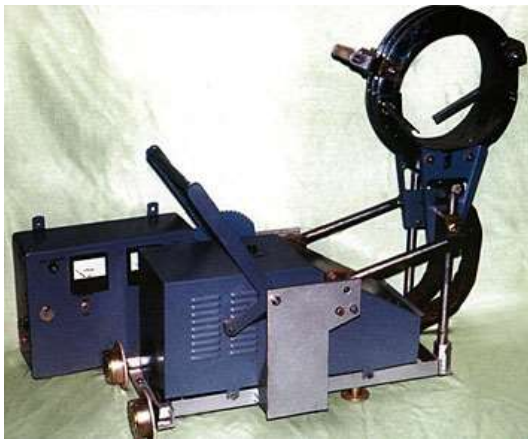


Рис.7.8. Дефектоскоп для магнетопорошкового контролю мод. МД-13ПР



Рис.7.9. Дефектоскоп магнетопорошковий мод. МД-12ПЭ

**Дефектоскоп МД-12ПЭ** – окрім колісних пар можна використовувати для контролю і інших деталей із феромагнетних матеріалів.

Основні технічні характеристики

– діаметр робочого отвору	– 235 мм;
– ефективний струм намагнетовування	– 36 А;
– поріг чутливості:	
ширина розкриття дефекту	– від 0,02 мм;
простяжність	– від 5 мм;
– розрізнявальна здатність	– не більше 10 мм;
– напруженість магнетного поля магнетувального пристрою	– 12000 А/м <sup>2</sup> ;
– напруга живлення	– ~ 220 ± 10% В;

- габаритні розміри блока управління – 275x520x320 мм;
- маса блока управління – 59 кг;
- габаритні розміри магнетувального пристрою – 536x60x420 мм;
- маса блока контролю – 9 кг.



Рис.7.10. Дефектоскоп магнетопорошковий сідлоподібний мод. МД-12ПС



Рис.7.11. Дефектоскоп магнетопорошковий мод. МД-12ПШ

**Сідлоподібний дефектоскоп МД-12ПС** – використовують для виявлення поперечних тріщин на внутрішніх шийках і середніх частинах осей локомотивних колісних пар.

Основні технічні характеристики:

- діаметр робочого отвору – 270 мм;
- ефективний струм намагнетовування – 46 А;
- напруженість магнетного поля магнетувального пристрою – 15000 А/м<sup>2</sup>;
- поріг чутливості:
  - ширина розкриття дефекту – від 0,02 мм;
  - простяжність – від 5 мм;
- розрізнявальна здатність – не більше 10 мм;
- загальна маса дефектоскопа – 76 кг.

**Дефектоскоп МД-12ПШ** – використовують, як і наведені вище, для виявлення поверхневих та підповерхневих дефектів на осях локомотивних колісних пар.

Основні технічні характеристики:

- діаметр робочого отвору – 200 мм;
- ефективний струм намагнетовування – 45 А;
- напруженість магнетного поля магнетувального пристрою – 18000 А/м<sup>2</sup>;
- поріг чутливості:



ширина розкриття дефекту	– від 0,02 мм;
простяжність	– від 5 мм;
– розрізнявальна здатність	– не більше 10 мм;
– загальна маса дефектоскопа	– 68 кг.

**Двокональний магнетний дефектоскоп «Інтрос»** (рис. 7.12) – призначений для вимірювання зносу канатів будь-якої конструкції, виготовлених із сталевого феромагнетного дроту, а також для їх контролю в процесі виробництва і експлуатації.

Дефектоскопом одночасно можна вимірювати відносну утрату металу по перерізу каната і виявити зовнішні і внутрішні локальні дефекти, наприклад, обриви окремих дротин і пасом, плями корозії, місця зварювання дротин тощо.

У комплекті з дефектоскопом постачають програмне забезпечення WINTROS.

ПЗ WINTROS розроблене на базі програм ІНТРОСОФТ і РЕ-ПОРТ, які поставляли разом з дефектоскопом ІНТРОС до 1999 року. За допомогою ПЗ WINTROS можна відкривати і опрацьовувати файли, які створені програмою ІНТРОСОФТ.

Основні переваги WINTROS у порівнянні з розробленими раніше програмами:

- надійне передавання інформації із електронного блока в комп'ютер;
- розвинені функції оброблення інформації;
- зручна робота в середовищі WINDOWS.

Можливості ПЗ WINTROS:

- завантаження даних із пам'яті дефектоскопа у файл на диску;
- огляд даних у вигляді дефектограм;
- детальний аналіз дефектограм канатів;
- порівняння дефектограм із різних файлів (у тому числі з метою моніторингу стану каната);
- оброблення дефектограм: фільтрація, позбавлення шумів тощо;
- об'єднання декількох файлів з дефектограмами в один файл;
- установлення і відображення на дефектограмі рівнів бракування каната;
- друкування дефектограм;
- виокремлення відрізків на дефектограмі;
- друкування звіту за результатами контролю;
- зміна налагодженості дефектоскопа.

Дефектоскоп використовують для неруйнівного контролю сталевих канатів ліфтів, кранів, підвісних канатних доріг і фунікулерів, шахтних підйомників, вантових мостів і інших споруд, повітряних

ліній електропередач (носійних сталевих канатів у комбінованих про-  
водах), грозозахисних тросів тощо.



Рис.7.12. Двоканальний маг-  
нетний дефектоскоп «Интрос»

Основним технічним показником у роботі є діаметри контролю-  
ваних канатів (від 8 до 150 мм) залежно від конструкції магнетної го-  
ловки.

Дефектоскопом «Интрос» можна також контролювати плоскі ста-  
леві канати шириною до 233 мм та гумовотросові канати шириною до  
450 мм.

**Дефектоскопи ДА 750 і ДА 1500** (рис.7.13) – створюють потужні  
змінні і випрямлені магнетні поля для магнетопорошкового контролю.

Змінне електромагнетне поле використовують для виявлення по-  
верхневих дефектів і розмагнетовування проконтрольованої деталі.

Випрямлене постійне поле використовують для виявлення підпо-  
верхневих дефектів.

Вихідний струм дефектоскопа регулюють від нуля до максималь-  
ного значення. Зміна вихідного струму фіксується амперметром, який  
розташований на передній панелі дефектоскопа (див. рис.7.13,а).

Значення вихідного струму залежать від поперечного перерізу і  
довжини кабелю.

Кабелі оснащені спеціальними контакторами для здійснення цир-  
кулярного намагнетовування пропусканням струму через деталь.  
Спеціальні кабелі можна намотувати на деталь у вигляді соленоїда для  
поздовжнього намагнетовування.

Для перевезення ДА 1500 у цехових умовах використовують  
спеціальний візок (див. рис.7.13,б).

Технічні характеристики дефектоскопів наведені в табл.7.2.

Таблиця 7.2. Технічні характеристики магнетних дефектоскопів

Інд. поз.	Найменування параметра	Дефектоскоп	
		ДА 750	ДА 1500
1	Максимальне значення вихідного струму, А	750	1500
2	Робоча напруга, В	230	230
3	Максимальний робочий цикл, хв:		
	включено	2	2
	виключено	2	2
4	Габаритні розміри, мм:		
	довжина	445	549
	ширина	230	237
	висота	198	242
5	Маса, кг	15,9	42,2



а



б

Рис.7.13. Магнетні дефектоскопи ДА 750 (а) і ДА 1500 (б)

**Ручний магнетувальний пристрій** фірми PARKER (рис.14). Універсальний магнетувальний пристрій широко використовують для магнетного контролю устаткування нафтової, нафтопереробної, газової, хімічної, металургійної, суднобудівельної, аерокосмічної та інших галузей.

Пристрій забезпечує наведення магнетних полів змінним або постійним струмом у феромагнетних матеріалах для виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів.

За допомогою двох регульованих полюсів електромагнет можна розташовувати на будь-якій криволінійній поверхні виробу.

**Магнетувальні соленоїди** (рис.7.15) використовують для магнетопорошкового контролю феромагнетних матеріалів.

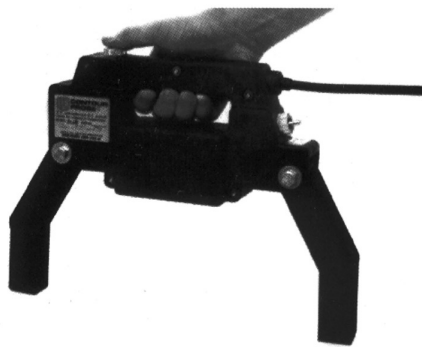


Рис.7.14. Універсальний магнетувальний пристрій фірми PARKER



Рис.7.15. Магнетувальні соленоїди для магнетопорошкового контролю

Соленоїди можна використовувати для „сухого” і „мокрого” методів контролю, а також для розмагнетовування проконтрольованих виробів.

Після намагнетовування контрольованих виробів такими соленоїдами можна виявляти поперечні дефекти у валах і аналогічних деталях.

Магнетувальні соленоїди (див. рис.7.15) виготовлені із поліуретанового матеріалу; їх поставляють у комплекті з ногою педаллю та кабелем живлення довжиною 3 м.

Корпус має плоску основу для установаження соленоїдів у вертикальне положення.



Рис.7.16. Цифровий гауссметр мод. 5070

Використовувати їх для вимірювання прикладеного магнетного поля і залишкової намагнетовності там, де здійснюють магнетний контроль.

Гауссметр 5070 має вмонтоване програмне забезпечення, яке виконує калібрування приладу. Технічні характеристики вимірювача наведені в табл.7.3.

**Ручний вимірювач намагнетовності** моделі 5070 всесвітньовідомої торгової марки F.W.BELL (рис.7.16) дає можливість вимірювати постійні, змінні та імпульсні магнетні поля до 30000 Гс з похибкою 2%.

Показання можна відобразити в гауссах, теслах або амперах на метр. Висока чутливість до слабких магнетних полів і широкий динамічний діапазон цих приладів дає можливість використувати їх для вимірювання прикладеного магнетного поля і залишкової намагнетовності там, де здійснюють магнетний контроль.

Таблиця 7.3. Основні технічні характеристики гауссметра мод. 5070

Інд. поз.	Показники	Одиниці вимірювання	Числове значення
1	Основна похибка	%	2
2	Смуга частот	кГц	0...10
3	Частота вибірки	1/с	10
4	Діапазони: низький середній високий	Гц	200 2000 20000
5	Температура: робоча зберігання	°C	від 0 до +50 від -20 до +60
6	Живлення (акумулятори)	В	9
7	Габаритні розміри: довжина x ширина x висота	мм	132x135x38

У комплекті з приладом поставляється тангенціальний датчик, камера обнулення за Гауссом, батарейки, кейс для транспортування та посібник з експлуатації.

Прилад „IRONTEST“ (рис.7.17) – прилад для **неруйнівного магнетного контролю виливків із чавуну** – призначений для їх розбраковування за показником якості, який задають в інтервалі значень придатності виливка.

Такими показниками якості можуть бути:

- твердість виливка;
- глибина загартованого шару;
- характеристика структури (співвідношення ферит-перліт, товщина вибіленого шару, якість термічного оброблення);
- механічні властивості.



Інтервал допустимих значень показника якості визначають вибором придатних виливків однієї номенклатури, які мають мінімально і максимально допустимі значення показника якості, визначені прямими металографічними методами.

Рис.7.17. Загальний вигляд приладу „IRONTEST“

Характеристики цих виливків будуть зафіксовані приладом автоматично як базові.

Налагодженість приладу дає можливість плавно регулювати діапазон допустимих значень придатності виливків.

Робота приладу заснована на вимірюванні залишкової полюсної намагнетованості в локальних точках на поверхні виливка, яка залежить від структурного стану литої деталі.

Пристрій полюсного локального намагнетовування конструктивно суміщений з магнетометричним датчиком, розміри якого забезпечують доступ до різних частин виливка.

Для розбраковування виливків за механічними властивостями необхідно здійснювати попередній статистичний аналіз залежності показника контролю від показника якості.

Основні характеристики приладу:

- глибина контролю – до 10 мм;
- тривалість одного вимірювання – до 3 с;
- розміри: датчик з магнетувальним пристроєм – 45x150 мм; електронний блок – 145x85x45 мм;
- маса – 0,3 кг;
- живлення: автономне – 9 В; блок живлення – мережа 220 В.

**Автоматизований магнетопорошковий комплекс Магнескоп ТВ-500 АС/АС** (рис.7.18) – призначений для магнетопорошкового контролю сталевих феромагнетних виробів.

Комплекс працює в автоматичному режимі. Основними функціями комплексу є: притискування контактів до поверхні контрольованого виробу, намагнетовування, знемагнетовування, нанесення суспензії, обертання об'єкта контролю, переміщення навитки намагнетовування, а також автоматичний моніторинг важливих параметрів контролю з оповіщенням оператора щодо відхилення їх від норми, передавання зображення контрольованої зони в процесор оброблення зображення, який здійснює автоматичний пошук дефектів, покращання зображення та передавання результатів контролю в архів.

Основні технічні характеристики:

- струм намагнетовування випрямлений одноперіодний: циркулярний – 4 000 А, поздовжній – 10 000 А;
- діаметр навиток-соленоїдів – 300 мм;
- максимальна маса контрольованого об'єкта – 90 кг;
- максимальна довжина контрольованого об'єкта – 500 мм;
- час, необхідний для виявлення дефекту – 500 мсек;
- потужність комплексу – 72 кВт.

**Автоматизований комплекс Магнескоп-3600** (рис.7.19) - призначений для магнето порошкового неруйнівного контролю продукції

машинобудування та авіаційної промисловості, наприклад, для контролю валів вертолітних турбовальних двигунів довжиною до 3600 мм і діаметром до 300 мм.

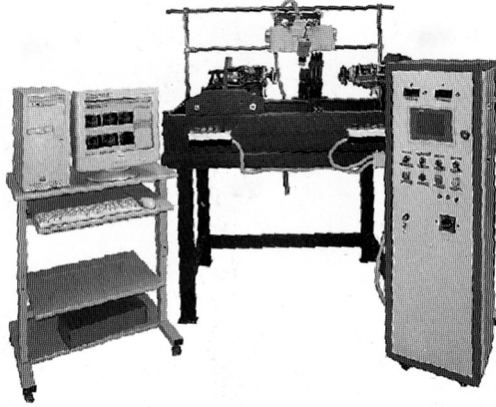


Рис.7.18. Автоматизований магнетопорошковий комплекс Магнескоп ТВ-500 АС/АС

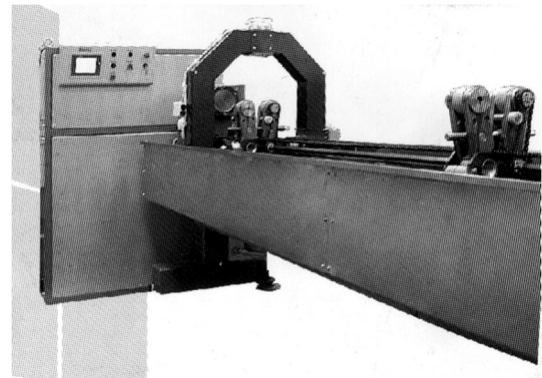


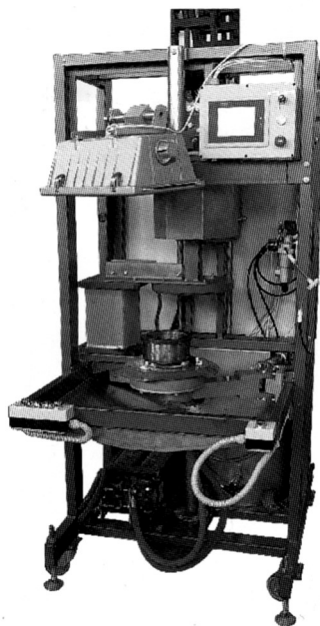
Рис.7.19. Автоматизований комплекс Магнескоп-3600

Особливості комплексу:

- можливість обертання об'єкта підчас здійснення контролю;
- автоматичне вмикання струму намагнетовування;
- автоматичне розмагнетовування об'єкта контролю;
- поздовжнє намагнетовування безперешкодним переміщенням моторизованою навиткою вздовж усієї довжини об'єкта контролю.

Технічні характеристики комплексу:

- струм намагнетовування трифазний випрямлений одно-півперіодний – до 10 000 А;
- максимальна маса об'єкта контролю – до 600 кг.



**Рис.7.20. Автоматизований комплекс Магнескоп-КПР-01** **Автоматизований комплекс Магнескоп-КПР-01** (рис.7.20) – використовують в автомобільній промисловості для контролю кілець підшипників у процесі їх виготовлення та ремонту.

Особливості комплексу:

- автоматичне вмикання струму намагнетовування та розмагнетовування об'єкта контролю;
- автоматичний контроль усіх параметрів процесу неруйнівного контролю;
- автоматичне виявлення дефектів;
- можливість обертання об'єкта під час здійснення контролю.

**Автоматизований комплекс Магнескоп 1200 АС/АС** (рис.7.21) – призначений для магнетопорошкового контролю кінців і торців труб діаметром від 1020 до 1220 мм.

Особливості комплексу:

- автоматичне управління процесом контролю, виявленням дефектів, їх реєстрацією і передаванням результатів в архів;
- автоматизована організація безперервного контролю (конвейєри, рольганги, маніпулятори);
- автоматичне установлення початкових параметрів (стабілізація і цифрова індикація струмів поздовжнього і циркулярного намагнетовування);
- безперервне автоматичне слідування за параметрами контролю – інтенсивністю ультрафіолетового освітлення, якістю магнетопорошкових суспензій тощо;
- автоматизований пошук дефектів та їх аналіз.

**Автоматизований комплекс Магнескоп 900 АС/АС** (рис. 7.22) – призначений для магнетопорошкового контролю труб нафтового сортаменту.

Технічні характеристики:

- струм намагнетовування – змінний;
- циркулярне намагнетовування – не менше 5 000 А;
- максимальна маса об'єкта контролю – 15 кг.

Особливості комплексу:

- можливість обертання об'єкта під час контролю;
- автоматичне вмикання струму намагнетовування;
- автоматичне розмагнетовування об'єкта контролю;
- автоматизований програмний пошук дефектів та їх аналіз.

Технічні характеристики:

- максимальна довжина об'єкта контролю – до 900 мм;
- максимальна маса об'єкта контролю – до 100 кг.



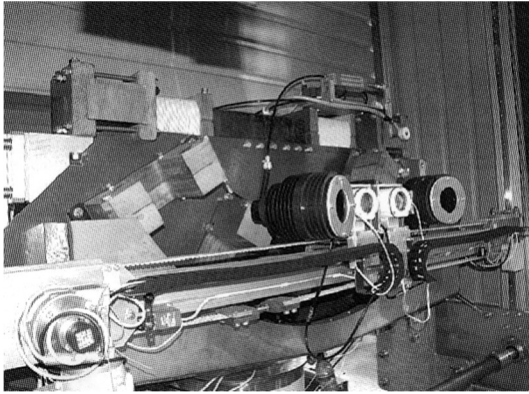


Рис.7.21. Автоматизований комплекс Магнескоп 1200 АС/АС

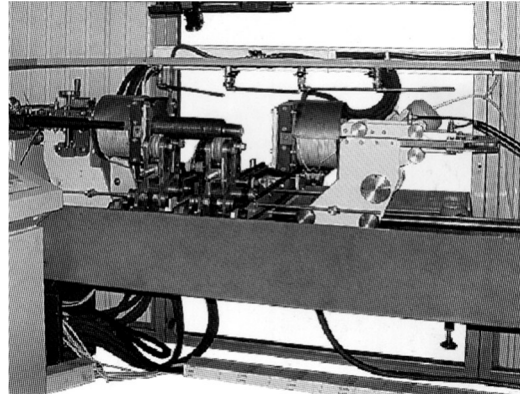


Рис.7.22. Автоматизований комплекс Магнескоп 900 АС/АС

**Оригінальні дефектоскопічні комплекти МАГЕКС** на постійних магнетах використовують для контролю якості зварових з'єднань і конструкцій на підприємствах машинобудівного комплексу, суднобудування, залізничного і автомобільного транспорту, хімічної, газової, нафтопереробної та енергетичної галузей.

Комплекти МАГЕКС прості і зручні в експлуатації, відзначаються високою надійністю; їх використовують у тих випадках, коли неможливе застосування електромагнетів, тобто там, де підведення електроенергії утруднено або обмежується правилами техніки безпеки (під час здійснення монтажних висотних робіт, у польових умовах або під час контролю якості внутрішньої поверхні резервуарів великої місткості тощо).

Залежно від типу намагнетовувальних пристроїв випускають комплекти трьох модифікацій: МАГЕКС-1М, МАГЕКС-2М, МАГЕКС-3М.

**МАГЕКС-1М** – має намагнетовувальний пристрій з гнучким магнетопроводом, який виготовлений у вигляді П-подібної магнетної системи на основі висококоерцитивних постійних магнетів. Комплект призначений для поздовжнього намагнетовування і контролю виробу частинами.

Основні технічні характеристики:

- напруженість магнетного поля в центрі повітряного зазора між полюсами – 200 кА/м;
- напруженість магнетного поля в повітрі між робочими торцями магнета – не менше 65 кА/м;
- міжполюсна відстань – 80 мм.

**МАГЕКС-2М** – пересувний намагнетовувальний пристрій, який виконаний у вигляді магнетної системи, що складається із двох дискових магнетних систем, з'єднаних загальною віссю-магнетопроводом. Для зручності намагнетовування на осі розташована немагнетна рукоятка. Пристрій призначений для безперервного намагнетовування і

експрес-контролю довгих зварових з'єднин, трубних і листових металоконструкцій.

**МАГЕКС-3М** – багатофункціональний пристрій, який дає можливість здійснювати плавне регулювання напруженості магнетного поля від нуля до максимального значення, вимикати магнетний потік на робочих полюсах, регулювати міжполюсну відстань і здійснювати намагнетовування виробів та їх контроль у поздовжньому магнетному полі.

У комплект кожного дефектоскопа входять:

- намагнетовувальний пристрій;
- пристрій для нанесення магнетної суспензії;
- свідоцтво щодо перевіряння намагнетовувального пристрою;
- методологічна інструкція щодо проведення магнетопорошкового контролю.

Як матеріали для магнетопорошкового контролю використовують готові суспензії і концентрати для „мокрого” методу контролю, а також порошки для „сухого” методу.

Готові до використання суспензії випускають в аерозольній упаковці (400 мл). Частіше інших використовують **чорні магнетопорошкові суспензії SUPRAMOR**, які мають високу чутливість через малий (менше 0,5 мкм) розмір зерна наповнювача.

Для підвищення контрасту чорних порошків на темних поверхнях контрольованих об'єктів використовують білі контрастні ґрунти **WCP 712** і **WCP 722**, які поставляють також і у вигляді концентратів.

**Люмінесцентні магнетопорошкові матеріали LUMOR** використовують для контролю виробів особливо відповідального призначення. Під час застосування люмінесцентних матеріалів LUMOR робоче місце контролера повинне бути забезпечене ультрафіолетовим освітленням з довжиною хвилі 365 нм, а освітленість білим світлом не повинна перевищувати 10 люкс.

**Дефектоскопічні матеріали в аерозольній упаковці:**

- чорна магнетопорошкова суспензія SUPRAMOR 1;
- люмінесцентна магнетопорошкова суспензія LUMOR 3X;
- білий контрастний ґрунт WCP 712;
- сухий концентрат чорної магнетної суспензії на водній основі SUPRAMOR WB;
- сухий концентрат червоної магнетної суспензії на основі оливи SUPRAMOR K Red;
- рідкий концентрат чорної магнетної суспензії на основі оливи SUPRAMOR 40KB;
- сухий концентрат люмінесцентної магнетної суспензії на водній основі LUMOR X (W).



Рис.7.23. Набір для комплексного контролю якості виробів відповідального призначення

**Набір для магнетопорошкового і візуально-оптичного контролю „Експерт 1”.** Використовують для комплексного контролю розмірів і якості поверхні виробів відповідального призначення. До комплекту набору входять (рис.7.23):

- лупи: 4<sup>x</sup>; 7<sup>x</sup> і 10<sup>x</sup> (вимірювальна);
- штангенциркуль з глибиновимірником;
- мікрометр 0...25 мм;
- універсальний шаблон зварювальника УШ-3;
- вимірник радіусів;
- дзеркало поворотне на телескопічній штанзі;
- лінійка вимірювальна металева довжиною 150 мм;
- кутник металевий довжиною 250 мм;
- ліхтарик мініатюрний;
- набір калібрів 0,05...1,00 мм;
- рулетка довжиною 5 м;
- маркер універсальний „STAR”;
- намагнетовувальний пристрій на постійних магнетах ПМВ-2;
- магнетна суспензія в аерозольному балоні MR-76 (Німеччина);
- ґрунт білий в аерозольному балоні MR-72 (Німеччина);
- змивник ґрунту в аерозольному балоні MR-71 (Німеччина);
- кейс пакувальний.

Намагнетовувальний пристрій характеризується простотою і зручністю контролю труднодоступних частин виробів і кутових зварених з'єднань, оскільки виконаний у вигляді двох різнополюсних магнетів, з'єднаних між собою гнучким магнетопроводом.

#### 7.4 Акустичний контроль

У світовій практиці неруйнівних випробовувань матеріалів і виробів одне із провідних місць посідає акустичний (ультразвуковий) контроль через високі його мобільність, безпечність, доступність і можливість контролювати вироби в труднодоступних місцях, особливо коли їх діагностику необхідно здійснювати в процесі експлуатації. Провідне місце в ультразвуковому неруйнівному контролі посідає ручна дефектоскопія.

Нижче наведені характеристики найбільш використовуваних ультразвукових дефектоскопів.

**Цифровий ультразвуковий дефектоскоп Einstein-II** – призначений для контролю продукції і матеріалів з метою виявлення несучільностей і неоднорідностей, визначення глибини залягання дефектів, вимірювання товщини стінок виробів та здійснення пошуку місць корозії.

Дефектоскоп (рис.7.24) використовують для контролю продукції і устаткування в металургійній, хімічній, нафтогазовій галузях, у машинобудуванні, енергетиці, на транспорті.



Рис.7.24. Загальний вигляд ультразвукового дефектоскопа Einstein-II

Цифрове оброблення сигналів відлунання дає можливість здійснити їх необхідну додаткову фільтрацію.

Основні технічні характеристики дефектоскопа:

- діапазон контролю (для сталі) – від 10 до 5000 мм з кроком 1...10 мм;
- діапазон швидкості звуку – від 1000 до 9999 м/с;
- регулювання підсилення до 100 дБ з мінімальним кроком 0,5 дБ;
- робочий діапазон температур – від -10 до +55°C.

Прилад розрахований на використання стандартних методик і методів ультразвукового контролю і дає можливість застосувати широкий спектр перетворювачів як вітчизняного, так і закордонного виробництва з робочими частотами від 1 до 10 МГц.

Оперативна схема режимів роботи забезпечена наявністю бібліотеки на 50 різноманітних налаштувань приладу.



Рис.7.25. Загальний вигляд ультразвукових дефектоскопів EROSN 4 і EROSN 4В

**Ультразвуковий дефектоскоп EROSN 4** (рис.7.25) – призначений для ультразвукової дефектоскопії і вимірювання товщини виробів і покриттів. Рідкокристалічний дисплей забезпечує оптимальний огляд форми хвилі і показів вимірювань навіть в умовах прямого сонячного світла.

Удосконалений реєстратор даних розроблений для полегшення забезпечення всіх задач дефектоскопії та вимірювання товщини. Усі збе-

режені дані можуть бути систематизовні у вигляді літерно-цифрових файлів і ідентифікаційних кодів, які можна переглядати на дисплеї.

Основні технічні характеристики дефектоскопа:

- діапазон швидкості звуку – від 635 до 15240 м/с;
- регулювання підсилення – до 100 дБ з кроком 0,5 дБ;
- автоматичне калібрування датчиків;
- робочий діапазон температури – від -40 до +70°C і залежить від джерела живлення та типу дисплея.

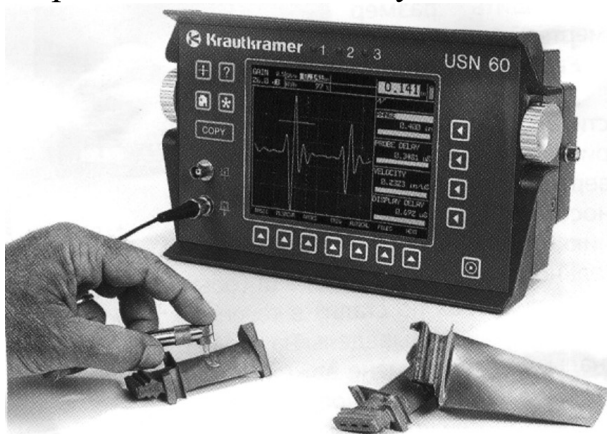


Рис.7.26. Загальний вигляд дефектоскопа USN60

**Ультразвуковий дефектоскоп USN60** (рис.7.26)

– легкий, компактний цифровий універсальний прилад з кольоровим екраном високої розрізняювальної здатності. Дефектоскоп можна використовувати як для лабораторних досліджень, так і для високопродуктивного неруйнівного контролю в польових умовах. Прилад має малу інерційність індикатора

і можливість відображення максимального сигналу в процесі сканування.

Основні технічні характеристики:

- частотний діапазон – 0,25...25 МГц;
- діапазон калібрування за глибиною (для сталі) – від 1 до 28000 мм;
- швидкість звуку – від 250 до 16000 м/с;



– регулювання підсилення – до 110 дБ з кроком 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 6,0 і 22,0 дБ;



Рис.7.27. Ультразвукові дефектоскопи серії DFX

задачі, які потребують високої точності вимірювань.



Рис.7.28. Ультразвуковий дефектоскоп EPOCH LT

найлегший (маса з батареями всього 1 кг) і тонкий (товщина – 38 мм) прилад широкого використання, має автоматичне калібрування ультразвукових перетворювачів, числовий реєстратор даних і багато інших функцій.

Дефектоскоп дає можливість швидко здійснювати контроль у важких виробничих умовах.

Експлуатаційні можливості приладу можна розширювати через використання додаткового програмного забезпечення.

Основні характеристики дефектоскопа:

– регулювання підсилення – до 100 дБ з кроком 6 або 0,1 дБ;

– частота видавання імпульсів – 15...6000Гц.

**Ультразвукові дефектоскопи серії DFX (Dakota Ultrasonics)** (рис.7.27) – це портативні прилади з розширеними можливостями для здійснення неруйнівного контролю практично в усіх галузях промисловості.

Дефектоскопи оптимізовані для роботи з матеріалами, які мають високий або низький коефіцієнт поглинання звуку, дають можливість вирішувати як стандартні задачі контролю, так і

Прилади мають яскраві і висококонтрастні екрани: результати досліджень можна представити в цифровому, аналоговому і відео форматах.

Основні технічні характеристики ультразвукових дефектоскопів серії DFX наведені в табл.7.4.

**Ультразвуковий дефектоскоп EPOCH LT** фірми Panametrics (рис.7.28) – най-

- діапазон швидкості звуку в матеріалі – від 635 до 15240 м/с;
- діапазон вимірювань (для сталі) – 1...10000 мм;
- методи контролю: імпульсний метод відлуння, дзеркально-тінювий та роздільно-суміщений;
- живлення: джерело змінного струму напругою 100...120 В або 200...240 В;
- діапазон робочих температур: від -10 до +50°C.



Рис.7.29. Ультразвуковий дефектоскоп ЕРОСН ХТ

**Ультразвуковий дефектоскоп ЕРОСН ХТ** (рис.7.29) – зручний в експлуатації, має рідкокристалевий дисплей.

Для кожного об'єкта контролю прилад дає можливість створювати окремі файли з результатами вимірювань. У комплект дефектоскопа входить широкий набір ультразвукових перетворювачів.

Основні характеристики дефектоскопа несуттєво відрізняються від дефектоскопа ЕРОСН LT. Маса приладу – 1,95 кг.

Таблиця 7.4. Технічні характеристики ультразвукових дефектоскопів DFX

Інд. поз.	Характеристика	Дефектоскопи	
		DFX 444	DFX544
1	Частотний діапазон	вузькосмуговий: 1, 2, 5, 10 МГц; широкосмуговий: 1,5...15 МГц	вузькосмуговий: 1, 2, 5, 10, 15 МГц; широ- космуговий: 0,3...22 МГц
2	Частота видавання імпульсів	35, 63, 150, 250, 500 і 1000 Гц	
3	Регулювання підсилення	до 110 дБ, крок регулювання: 0,5; 2,6; 14; 20 дБ	
4	Діапазон вимірювань (для сталі)	5...10000 мм	1...20000 мм
5	Діапазон швидкості звуку	1000...9999 м/с	256...16000 м/с
6	Робоча температура	від -20 до +70°C	
7	Габарити	255 x 145 x 145 мм	

8	Маса (з акумулятором)	2,5 кг
---	-----------------------	--------



Рис.7.30. Акустичний дефектоскоп СПЕКТР 1

**Акустичний дефектоскоп СПЕКТР 1** (рис.7.30) – призначений для контролю ступеня сфероїдизації графіту, наявності тріщин і різностінності литих деталей, для визначення співвідношення „ферит-перліт“ у виливках із ковкого чавуну.

Принцип дії – автоматичний аналіз спектра частот вільних коливань, збуджуваних механічним ударом. Вибір і нормування характеристик спектра здійснює розробник дефектоскопа (або користувач) за харак-

терним значенням спектра частот придатного виливка, який приймають за зразковий.

Форми подання результатів контролю:

- кількісна: фактичне значення нормованих характеристик спектра частот;
- світлова: „Брак“ – світіння червоного світло діода; „Норма“ – світіння зеленого світловода;
- звукова: „Брак“ – звуковий сигнал.

Основні характеристики дефектоскопа:

- склад апаратури: електронний блок і камера прозвучування;
- тривалість контролю одного виливка в ручному режимі – не більше 10 с;
- живлення – мережа 220 В, 50 Гц;
- споживана потужність – не більше 100 Вт;
- розміри електронного блока – 480 х 540 х 240 мм;
- маса – 5,0 кг.



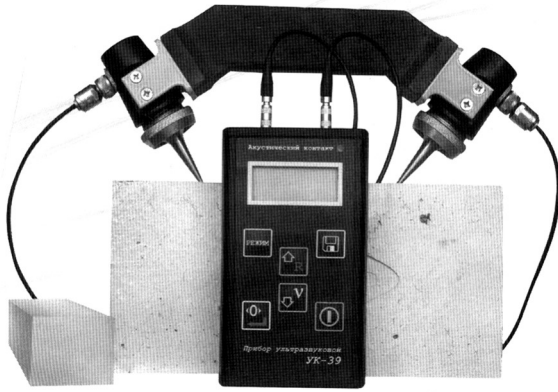


Рис.7.31. Ультразвуковий прилад УК-39 у роботі

**Ультразвуковий прилад УК-39** (рис.7.31) – призначений для вимірювання часу і швидкості поширення ультразвукових коливань у будівельних матеріалах і конструкціях імпульсним методом з використанням наскрізного і поверхневого прозвучування.

Приладом вимірюють час проходження ультразвуку в матеріалі, який перераховують у значення швидкості поширення

ультразвукових коливань, а також у величину міцності за наявністю експериментальних проградуєваних залежностей відповідно ГОСТ 17624 (для бетону) і ГОСТ 24332 (для цегли).

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірюваного часу – 15...999 мкс;
- дискретність вимірювання часу – 0,1...1,0 мкс;
- похибка вимірювання часу – не більше  $\pm 1,0\%$ ;
- напруга збуджування –  $400 \pm 50$  В;
- робоча частота коливань – 60 кГц;
- кількість сторінок енергонезалежної пам'яті – до 200;
- живлення – батарея 6F22 (Крона);
- габаритні розміри електронного блока – 145 x 82 x 32 мм;
- маса блока з оснасткою для поверхневого прозвучування – не більше 1,0 кг.

Особливе місце в ультразвуковій дефектоскопії посідають вимірювачі товщини виробів та покриттів.

**Ультразвуковий вимірювач товщини УТ-98Т „СКАТ”** (рис.7.32) – використовують для вимірювання товщини виробів із різних металів, сплавів і інших матеріалів при одnobічному доступі до них у процесі експлуатації або виготовлення. Прилад є високоефективним для контролю в енергетичній, хімічній, машинобудівній, транспортній, нафтогазодобувній та переробній галузях.

Характерні особливості приладу:

- графічний дисплей з великими цифрами і яскравим підсвічуванням;
- здатність зберігати до 8000 результатів вимірювань з файловою організацією пам'яті (до 64 файлів);
- режим графічного відображення рельєфа контрольованого виробу на довжині до 16 м;

– передавання накопичених даних послідовним каналом у ПЕОМ для остаточного оброблення результатів.

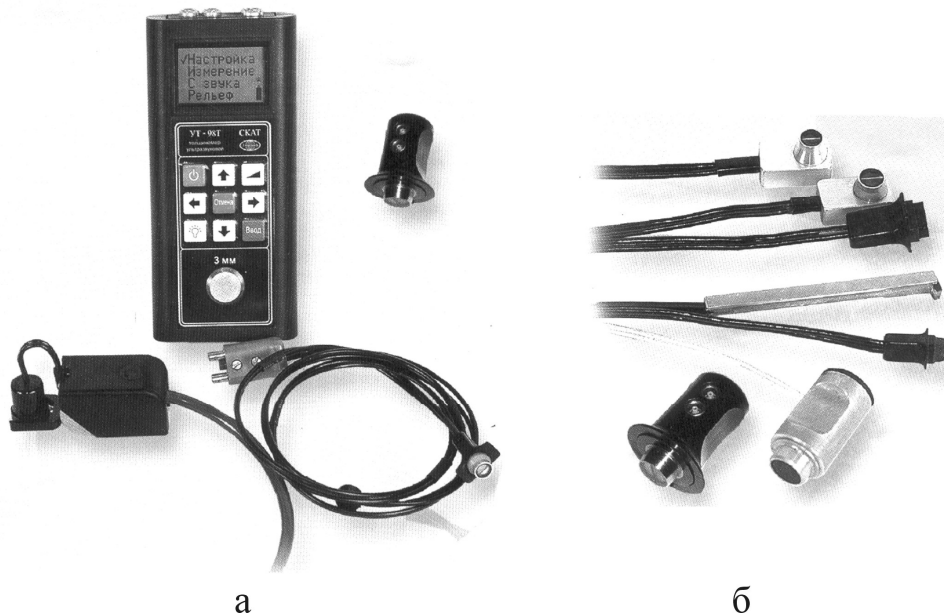


Рис.7.32. Загальний вигляд вимірювача товщини УТ-98Т „СКАТ” (а) і вимірювальні перетворювачі до нього (б)

Великий асортимент вимірювальних перетворювачів забезпечує контроль різноманітних виробів, у тому числі і з грубообробленою або кородованою поверхнями.

Спеціалізовані перетворювачі, сканувальні пристрої і пакети програм дають можливість автоматизувати процеси вимірювання і оброблення результатів контролю для теплообмінних апаратів теплових і атомних електростанцій, установок комплексного підготування газу на газоперероблювальних станціях, лопаток газових турбін тощо.

Основні технічні характеристики вимірювача товщини:

- діапазон контрольованих товщин - 0,5...300,0 мм;
- швидкість поширення звуку – 1000...15000 м/с;
- похибка вимірювання:
  - в діапазоні товщин  $T = 0,5...20$  мм –  $\pm 0,05$  мм;
  - в діапазоні товщин  $T = 21...300$  мм –  $(0,002T \pm 0,05)$  мм;
- діапазон робочих температур для приладу – від -20 до +50°C.
- діапазон робочих температур для перетворювачів – від -40 до +60°C;
- габаритні розміри приладу – 175 x 78 x 28 мм.



Рис.7.33. Загальний вигляд вимірювача товщини БУЛАТ-1

**Ультразвукові вимірювачі товщини серії БУЛАТ** (рис.7.33) – використовують для вимірювання товщин виробів із металевих і неметалевих матеріалів (листів, посудин, труб, трубопроводів, мостових, корпусних, транспортних і інших конструкцій, у тому числі дуже кородованих, з накипом тощо) у процесі їх експлуатації або після виготовлення.

Прилади прості і зручні в роботі, мають високу чутливість, дають можливість контролювати кородовані вироби з шорткістю  $R_z$  до 200 мкм для моделей БУЛАТ-1П(М) і до 400 мкм – для моделей БУЛАТ-1S, БУЛАТ-2 і БУЛАТ-5.

**БУЛАТ-1** – базова модель ультразвукового вимірювача товщин з пам'яттю для запам'ятовування до 30 налаштувань і до 2000 результатів вимірювань з можливістю перегляду їх і передавання в комп'ютер. Час зберігання інформації - до 10 років без джерела живлення.

Основні технічні характеристики вимірювачів товщини серії БУЛАТ наведені в табл.7.5.

Проте кожний прилад має свої особливості, спрямовані на більш удосконалену конструкцію і розширення можливостей контролю.

**Ультразвуковий товщиновимірювач УТ-31** (рис.7.34) - призначений для вимірювання товщини виробів із металевих і неметалевих матеріалів (листів, посудин, труб, трубопроводів, мостових, корпусних, транспортних та інших конструкцій) при доступі до них з одного боку в процесі виробництва, експлуатації або ремонту в різних галузях промисловості.

Прилад виготовлений у легкому і міцному металевому корпусі з довговічною клавіатурою і розрахований на тривалу експлуатацію.

Таблиця 7.5. Основні технічні характеристики вимірювачів товщин серії БУЛАТ

Інд. поз.	Характеристика	Одиниця виміру	Числове значення			
			БУЛАТ-1М	БУЛАТ-2	БУЛАТ-1S	БУЛАТ-5
1	2	3	4	5	6	7
1	Діапазон контрольованих товщин, Т	мм	0,8...200	6...600	0,8...200	0,6...200

2	Швидкість поширення звуку	м/с	1000...9999			
3	Похибка вимірювання, не більше	мм	0,005T +0,05	0,001T +0,01	0,005T +0,02	0,002T +0,01
4	Температурний робочий діапазон	°C	від -10 до +40			
			на замовлення від -30 до +50			



Рис.7.34. Ультразвуковий товщинимірювач УТ-31

Легка заміна і великий вибір перетворювачів забезпечують широкий діапазон вимірюваних товщин (від 0,8 до 200 мм), дають можливість здійснювати вимірювання на виробах різної конфігурації, з різноманітними фізико-механічними властивостями, а також на виробах з високою шорсткістю поверхні.

Характерні особливості приладу:

- великі символи індикатора;
- спеціальний індикатор акустичного контакту;
- режим індикації мінімальної товщини;
- зручне регулювання

підсилення;

– записування результатів вимірювань у пам'ять одним натисканням клавіші;

– енергонезалежна пам'ять результатів вимірювань;

– ручний і автоматичний вибір дискретності: 0,01 мм або 0,1 мм;

– самовиключення приладу.

Основні технічні характеристики приладу:

– діапазон вимірюваних товщин (для сталі) – 0,8...200 мм;

– діапазон швидкості ультразвуку – 1000...9999 м/с;

– кількість комірок пам'яті результатів вимірювань – 4000;

– живлення – батарея 6F22 (Крона);

– діапазон робочих температур для приладу – від -5 до +40°C;

– габарити приладу – 145 x 82 x 32 мм;

– маса приладу з батареєю – не більше 0,4 кг.

## 7.5 Радіаційний контроль

Рентгенівська дефектоскопія залишається одним із найбільш інформативних, достовірних і поширених методів неруйнівного контролю. За прогнозами експертів радіаційний контроль буде розвиватися наступні десятиліття, оскільки це пов'язане з тенденцією поступового переходу від дефектоскопії до дефектометрії.

Практика використання рентгенівських апаратів імпульсної дії дає можливість зробити однозначний висновок, що суттєвими недоліками, які значною мірою знижують діапазон їх використання в тих галузях промисловості, в яких пред'являються підвищені вимоги до параметрів радіографічного контролю, є:

- обмежені можливості дискретного регулювання щільності потоку рентгенівського випромінювання;
- більший, у порівнянні з безперервним випромінюванням, розмір фокусної плями;
- тривалі паузи в роботі генератора випромінювання і відносно невеликий ресурс роботи рентгенівських трубок.

Таких недоліків не мають рентгенівські апарати безперервної дії, які широко використовують для контролю конструкційних матеріалів, металу зварюваних швів і механічних з'єднань у процесі виготовлення відподальних деталей і вузлів.

Цифрові методи реєстрації, оброблення і зберігання результатів радіаційного контролю якості виробів з одного боку скоротили використання аналогових носіїв інформації (рентгенівської плівки), з другого – показали значущість рентгенодіагностики на якісно новому рівні. Цьому сприяє інтенсивний розвиток комп'ютерної техніки та цифрової електроніки, а також прагнення відійти від традиційного детектора рентгенівського випромінювання – рентгенівської плівки, яка є дорогим носієм інформації.

Проте рентгенівські дефектоскопи нового покоління з цифровими детекторами радіаційного випромінювання і комп'ютерними засобами реєстрації і оброблення рентгенограм поки ще залишаються апаратурою, яка дорого коштує. Це суттєво стримує їх використання на промислових підприємствах України, тому під час радіаційного контролю якості виробів використовують як детектор рентгенівського випромінювання рентгенівську плівку.



Рис.7.35. Загальний вигляд портативного рентгенівського апарата серії SITE-X

**Портативні рентгенівські апарати серії SITE-X** (рис.7.35) – найпопулярніші в світі, оскільки оптимально поєднують необхідні характеристики, надійність і вартість. Апарати дають можливість одержувати високоякісні результати контролю з високою їх достовірністю, а унікальна конструкція рентгенівської трубки та системи охолодження гарантують тривалу їх експлуатацію.

Технічні характеристики рентгенівських апаратів серії SITE-X наведені в табл.7.6.

Особливостями рентгенівських апаратів є наступні:

- для того, щоб скоротити кількість пробних пусків до мінімуму, оператор за бажанням може створити свою власну базу даних для стандартних експозицій;

- усі радіологічні параметри експозиції – кіловольти, міліампери, час, тип плівки, фокусна відстань до плівки і щільність почорніння плівки – запам'ятовуються натисканням однієї кнопки.

**Портативний рентгенівський апарат з боковим випромінюванням ERESO 42 MF3.1** (рис.7.36) – розроблений з використанням найсучасніших комунікаційних технологій з високим рівнем виходу випромінювання, що дає можливість максимально скоротити час експозиції і підвищити продуктивність апарата.



Рентгенівський апарат ERESO 42 MF3.1 здатний просвічувати сталевий виріб товщиною до 42 мм до щільності почорніння плівки 2,0 за час експозиції 10 хв. при фокусній відстані 700 мм.

Блок випромінювача складається із надійної металокерамічної рентгенівської трубки і генератора високої напруги, скомпоновані всередині міцного корпусу.

Генератор високої напруги видає високостабільну постійну напругу з більшою ефективністю, ніж традиційні апарати.

Робочі параметри трубки і генератора контролюються протягом усього часу здійснення контролю.

Апарат захищений від перегрівання. З'єднувальний кабель між блоком випромінювання і пультом управління легко згинається і не перешкоджає зручному обслуговуванню.

Рентгенівський апарат виготовляють відповідно до вимог системи якості ISO 9001.

Таблиця 7.6. Характеристики рентгенівських апаратів серії SITE-X

Інд. поз.	Характеристика	Рентгенівський апарат			
		SITE-X D1802	SITE-X D2008	SITE-X D3206	SITE-X D3605
1	Напруга на рентгенівській трубці, кВ	50...180	70...120	90...320	150...360
2	Струм на рентгенівській трубці, мА	1...2	1...8	1...6	1...5
3	Товщина просвічування (сталь), мм	21	39	69	82
4	Робоча температура, °С	від -25 до + 70			
5	Установлення робочого струму з кроком, мА	0,1			
6	Кут розкриття пучка, град	60 x 40			
7	Розмір фокусної плями, мм	0,8 x 0,8	2,5 x 2,5		
8	Робочий цикл при температурі 40°С, %	100			

Примітка. Дані щодо товщини просвічування наведені для умов: відстань – 700 мм, плівка D7 із свинцевими екранами, оптична щільність почорніння – 2,0 час експозиції – 20 хв.

Основні технічні характеристики рентгенівського апарата ERESO 42 MF3.1:

- тип рентгенівської трубки – 200 кВ, металокерамічна;
- кут розкриття пучка – 40x60 град.;
- потужність апарата – 900 Вт;
- розмір фокусної плями – 3,0 мм;
- стабільність струму і напруги –  $\pm 1\%$ ;
- установлена потужність – 1,6 кВА;
- маса рентгенівської трубки – 26,8 кг.

**Переносні моноблокові рентгенівські апарати для рентгеноскопії серії SMART (рис.7.37) – поєднують високі робочі характеристики, зручність у роботі, безпеку і високу надійність під час експлуатації в найжорсткіших умовах.**



Рис.7.37. Загальний вигляд рентгенівських апаратів серії SMART

апарати на відкритих майданчиках, на великій висоті, а також здійснювати контроль трубопроводів без виносу блока управління із пересувної лабораторії.

Випромінювачі оснащені міцними і надійними металокерамічними рентгенівськими трубками з уземленим анодом. Мікропроцесорний блок управління SMART 583 має дворядковий літерно-цифровий дисплей. Параметри експозиції вводять окремо або за допомогою однієї із 100 раніше уведених програм. Блок автоматично розпізнає тип і серійний номер підключеного випромінювача і зберігає параметри 100 останніх експозицій.

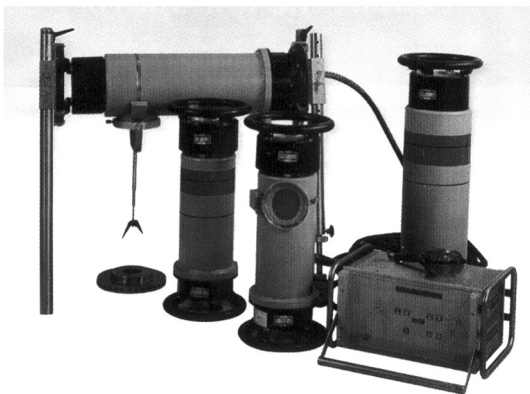


Рис.7.38. Рентгенівський апарат GILARDONI



Рис.7.39. Рентгенівський апарат GE-IT-SEFERT

Аналогічні функції під час рентгенівського контролю виконують рентгенівські апарати GILARDONI (Італія), (рис.7.38); GE-IT-SEFERT (Німеччина), (рис.7.39); BALTEAU (Бельгія-Франція), (рис.7.40); LO-RAD (США), (рис.7.41).



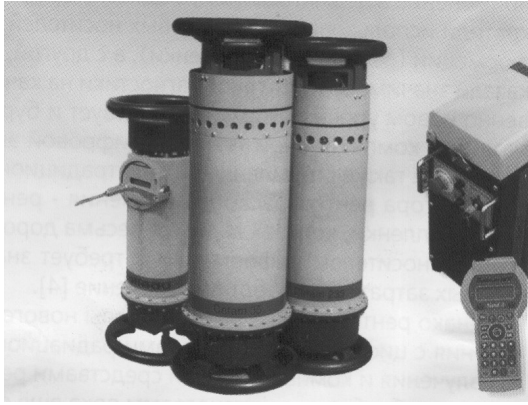


Рис.7.40. Рентгенівський апарат BALTEAU



Рис.7.41. Рентгенівський апарат LORAD



**Переносні рентгенівські апарати серії РПД-200** (рис.7.42) – мають високу надійність, яка забезпечується наявністю режиму автоматичного тренування рентгенівської трубки.

Серія рентгенівських апаратів представлена трьома моделями:

- РПД-200 – з боковим виходом випромінювання;
- РПД-200П – з панорамним виходом випромінювання;
- РПД-200ПТ – з панорамним виходом випромінювання.

Моноблоки всіх апаратів цієї серії працюють у режимі із сталими регульованими анодною напругою і струмом рентгенівської трубки.

Апарат РПД-200ПТ розроблений спеціально для радіографії швів трубопроводів і забезпечений спеціальним візком для з'юстовування і переміщення апарата всередині труби.

Рис.7.42. Рентгенівський переносний апарат РПД-200

Режим роботи апаратів – повторно-короткочасний. Максимальна тривалість безперервної роботи із холодного стану до вимикання апарата через перегрівання на максимальній потужності – біля 30 хв. (залежно від температури навколишнього середовища).

Рентгенівські апарати цієї серії поставляють у такому комплекті:

- моноблок у футлярі з амортизацією і ручками для перенесення;
- блок живлення і управління (БЖУ) в кейсі;
- пульт дистанційного управління з кабелем довжиною 50 м;
- з'єднувальний кабель (моноблок – БЖУ) довжиною 10 м;
- сигнальна лампа на магнетному утримувачі з кабелем довжиною 10 м;

Конструктивно моноблоки апаратів цієї серії уявляють собою алюмінієві циліндричні блоки, заповнені трансформаторною оливою, в якій знаходиться рентгенівська трубка і потужне високочастотне джерело високої напруги. Радіатор анода рентгенівської трубки охолоджується вентилятором.

Блок живлення і управління уявляє собою герметичний пластмасовий кейс, усередині якого розташовані: лицьова панель управління з різнімами для приєднування кабелів, кнопки управління і цифрові індикатори режимів роботи апарата. Роботу з апаратом здійснюють при відкритій кришці кейса.

Основні технічні характеристики базового апарата РПД-200:

- довжина моноблока без рукоятки – 803 мм;
- габаритні розміри моноблока з рукоятками – 808 x 196 мм;
- діапазон установлювання анодної напруги з кроком 1 кВ – 70...200 кВ;
- розмір фокусної плями – 2 x 2 мм;
- робоча діаграма випромінювання – 40 x 60 град.;
- максимальна анодна потужність – 1000 Вт;
- живлення – однофазна мережа змінного струму 220 В, 50 Гц;
- тип рентгенівської трубки – 1,2БПК 21-200;
- діапазон робочих температур – від -10 до + 40°C;
- діапазон температур зберігання і транспортування – від -40 до +70°C;
- установлена потужність – не більше 1400 Вт.

**Пересувні кабельні рентгенівські апарати постійної напруги ХМВ160 і ХМВ225** (рис.7.43) – легкі компактні апарати потужністю до 2,25 кВт з газоізолюваним високовольтним генератором установлені на візок, який легко переміщує одна людина. Апарати забезпечують контроль великої гами об'єктів – від низькощільних композиційних матеріалів до сталевих деталей товщиною до 35 (ХМВ160) і 57 мм (ХМВ225).



Рис.7.43. Пересувний рентгенівський апарат ХМВ160

Техніка перетворення напруги забезпечує дуже високу стабільність випромінювання, точне установлення енергії і вкрай швидко реакцію на зміни заданих параметрів.

Технічні характеристики пересувних кабельних рентгенівських апаратів наведені в табл.7.7.

Апарати дають можливість здійснювати програмування і виконання 100 наборів параметрів (кВ, мА, час, фокус).

Таблиця 7.7. Технічні характеристики пересувних рентгенівських апаратів

Інд. поз.	Характеристики	Рентгенівські апарати	
		ХМВ 160	ХМВ 225
1	Установка високої напруги, кВ	7,5...160,0	10...225
2	Установка струму трубки, мА	до 22,5	до 15,0
3	Установка часу експлуатації	до 10 хв. з кроком 1 с; до 99 хв. 50 с – з кроком 10 с	
4	Максимальна вихідна потужність, кВт	до 2,25 залежно від трубки	
5	Робоча температура, °С	-10...+30, відносна вологість 90% при +40	
6	Електроживлення	230 В +10...15%, 50 Гц, 16 А	

**Портативні імпульсні рентгенівські апарати серії АРИНА** (рис.7.44) – призначені для використання як джерела рентгенівського випромінювання під час неруйнівного контролю матеріалів методом рентгенографії.

Умови експлуатації: діапазон температур - від -40 до +50°С; відносна вологість повітря - до 98% при температурі +25°С і при більш низьких температурах без конденсації вологи.

Експозиційна доза рентгенівського випромінювання на відстані 500 ± 20 мм від торця рентгенівського блока в прямому пучку за 1,5 хв. не менше 258 мкКл/кг (1000 мР).



Рис.7.44. Загальний вигляд портативного імпульсного рентгенівського апарата АРИНА-5

плівками, реактивами для автоматичного і ручного оброблення плівок, цифровими системами для неруйнівного контролю та системами для сканування промислової рентгенівської плівки тощо.

**Система рентгенівського контролю MU2000** (рис.7.45) – створена з урахуванням сучасних вимог промисловості щодо неруйнівного контролю і дає можливість контролювати різні об’єкти, у тому числі і високоточні виливки із легких сплавів, частини турбореактивних двигунів, сталеві деталі, вироби із пластмас і кераміки.



Рис.7.45. Система рентгенотелевізійного контролю MU2000

Товщина сталі, доступна для рентгенографування за допомогою рентгенівських плівок з флуоресцентними підсилювальними екранами – до 85 мм, а за допомогою висококонтрастних рентгенівських плівок – до 40 мм.

Живлення апарата: - однофазна мережа змінного струму – 220 В, 50 Гц.

Фірма KODAK забезпечує рентгенографічний контроль

Двостулкові металеві розсувні двері відкриваються або закриваються за 3 с.

Вмонтоване в них вікно з свинцевого скла забезпечує візуальний контроль положення деталі і маніпулятора. Система може бути виготовлена в різних варіантах, у тому числі і в таких, які дають можливість автоматично виконувати послідовність операцій контролю і добре пристосовуватися до роботи як у виробничому циклі виготовлення виробів, так і в автономному режимі.

**Спеціалізовані рентгенівські комплекси серії АРТИКОН:**  
**Комплекс АРТИКОН 305 УВ** (рис.7.46) – комплекс призначений для рентгенотелевізійного контролю деалей авіаційних двигунів.

Радіаційна товщина виробів, які піддають контролю: сталевих – до 35 мм, із алюмінієвих сплавів – до 80 мм.

Основні складові комплексу:

- рентгенівський апарат Витязь 160 з моноблоком випромінювача і високовольтним джерелом живлення;
- рентгенотелевізійна система Контраст 215Д з системою комп'ютерного оброблення результатів контролю і архівування;
- пульт управління з вмонтованою силовою електронікою керування електродвигунами маніпулятора, комп'ютером, джерелом безперебійного живлення, висувною клавіатурою, панеллю управління рентгенівським джерелом Витязь, сенсорним екраном для керування маніпулятором і шторками, аварійним вимикачем тощо;
- кабіна з радіаційним захистом і телевізійною системою спостереження за положенням об'єкта.

**Комплекс АРТИКОН МТЛ** (рис.7.47) – призначений для контролю зварових швів прямошовних труб у процесі їх виготовлення.

Може працювати в режимі автоматизованого контролю.

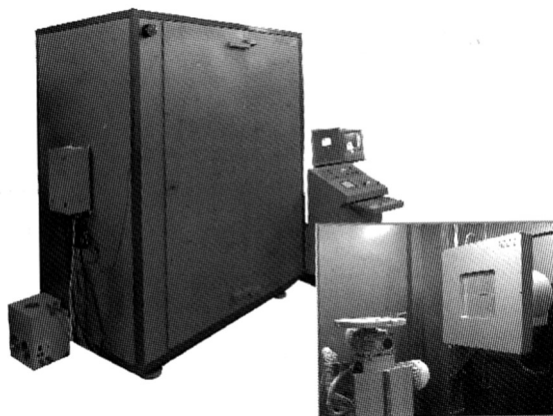


Рис.7.46. Спеціалізований комплекс АРТИКОН 305 UV

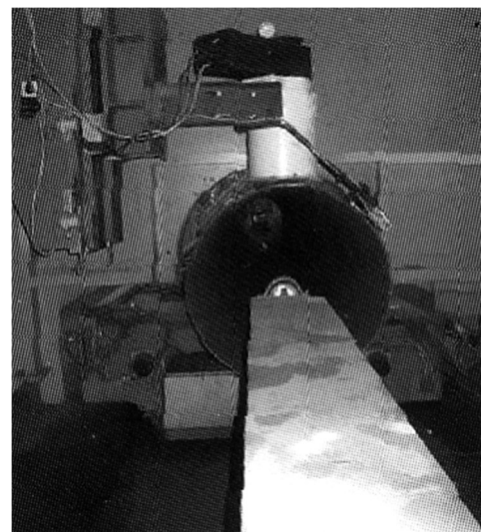


Рис.7.47. Комплекс для металургії АРТИКОН МТЛ

Основні складові комплексу:

- рентгенівський апарат Руслан 160 або Руслан 225;
- підсилювач рентгенівського зображення Контраст з відеомонітором;
- система комп'ютерного оброблення результатів контролю і архівування зображень ВідеоРен;
- автоматичні шторки рентгенівського пучка;
- пульт управління пристроями позиціонування, рентгенівською трубкою і рентгенівським апаратом в цілому;
- телевізійна камера для спостереження за об'єктом контролю.

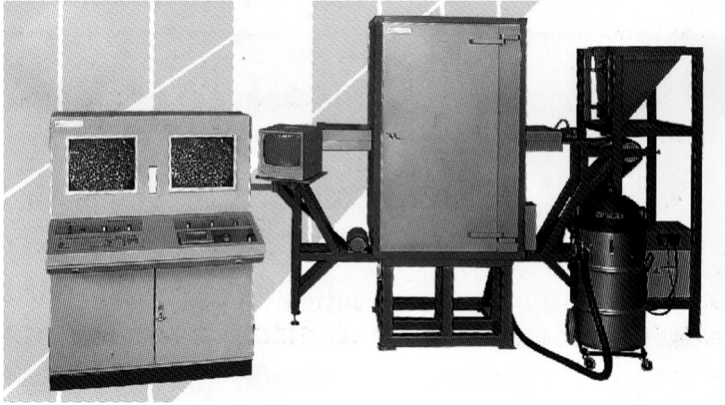


Рис.7.48. Комплекс для контролю металургійної продукції АРТИКОН ВСЛ

### **Комплекс АРТИКОН ВСЛ**

(рис.7.48) – призначений для виявлення і відбраковування краплин підвищеної щільності в титаномісткій лігатурі.

Ширина стрічки транспортера з лігатурою, яка піддається одночасно

контролю – 156 мм, висота шару лігатури – 15 мм.

Комплекс може працювати як у ручному, так і в автоматичному режимі.

Основні складові комплексу:

- стаціонарний високостабілізований промисловий рентгенівський апарат Руслан 160ТР-01 з системою охолодження рентгенівської трубки замкненого циклу;
- рентгенотелевізійна система Контраст 215Д з системою комп'ютерного оброблення результатів контролю і архівування зображень ВідеоРен;
- кабіна радіаційного захисту розмірами 1030 x 1060 x 1650 мм з елементами введення і виведення конвейерної стрічки з лігатурою, з телевізійною системою спостереження за процесом контролю;
- пристрої для видалення відбракованої лігатури.

**Комплекс АРТИКОН МП** (рис.7.49) – призначений для контролю якості зварювання труб із неіржавкої сталі.

Параметри виробів, які піддають контролю:

- діапазон довжин: 450...3100 мм;
- діаметри труб – від 40 до 100 мм;
- максимальна товщина контрольованої труби ( з урахуванням просвічування через 2 стінки) – 20 мм.

Основні складові комплексу:

- стаціонарний промисловий рентгенівський апарат ISOVOLT 225 з системою охолодження рентгенівської трубки WL 2000;
- система лазерного центрування рентгенівського пучка;
- рентгенотелевізійна система Контраст з комп'ютерним обробленням результатів контролю і архівування зображень ВідеоРен;

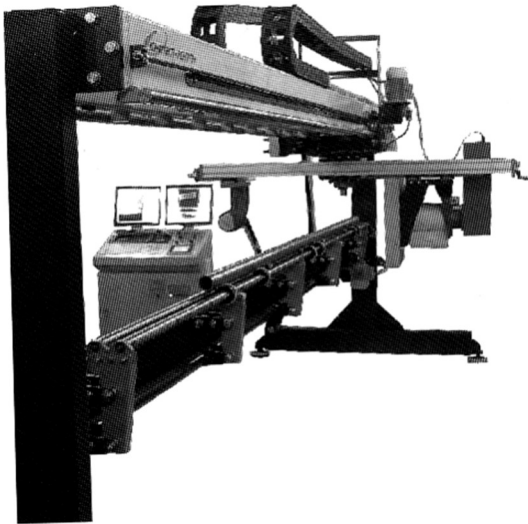


Рис.7.49. Спеціалізований комплекс для контролю продукції машинобудівних підприємств АРТИКОН МП

- пристрій для програмованого обертання контрольованого виробу;
- пристрій для програмованого переміщення рентгенівської трубки;
- виносний пульт управління пристроями переміщення рентгенівської трубки і обертання контрольованого виробу та системою лазерного центрування рентгенівського пучка;
- комплект спеціалізованого програмного забезпечення.

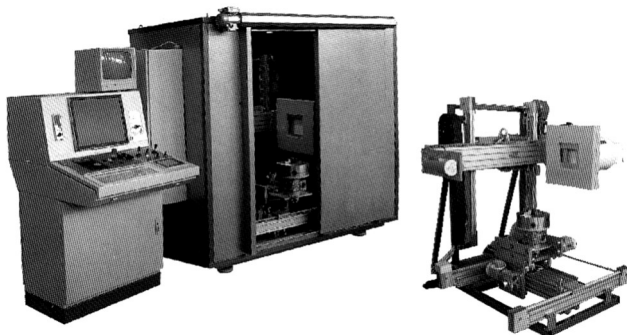


Рис. 7.50. Комплекс для контролю деталей в автомобільній промисловості АРТИКОН РАЛ  
120 мм.

**Комплекс АРТИКОН РАЛ** (рис.7.50) – призначений для контролю блоків циліндрів автомобільних двигунів, картерів коробок передач, корпусів насосів та інших виробів.

Товщина контрольованих виробів: сталевих – до 37 мм, алюмінієвих – до

Основні складові комплексу:

- високостабілізований промисловий рентгенівський апарат ISOVOLT 160 з програмованим управлінням і замкненою системою водяного охолодження рентгенівської трубки;
- рентгенотелевізійна система Контраст 215Д з системою комп'ютерного оброблення результатів контролю і архівування зображень ВідеоРен;
- шкаф електроніки з програмованим контролером управління та частотними перетворювачами живлення мотор-редукторів тощо.
- кабіна радіаційного захисту з телевізійною системою спостереження за положенням об'єкта.

## 7.6 Тепловий контроль

Тепловий контроль повною мірою забезпечений відповідними приладами. Нижче наведені сучасні, апробовані в промисловості, вимірювачі температури.



Рис.7.51. Ручний пірометер часткового випромінювання Термоскоп-100

**Багатоцільові ручні інфрачервоні вимірювачі температури пістолетного типу з лазерними цілепоказчиками.**

Представником цієї серії є ручний пірометер часткового випромінювання **Термоскоп-100** (рис.7.51) – призначений для оперативного безконтактного вимірювання температури нагрітих тіл. Цей багатоцільовий прилад можна використовувати практично в

усіх галузях промисловості. Пірометер застосовують не тільки для контролю технологічних параметрів, але і під час проведення робіт з енергоаудиту.

Використання сучасних електронно-оптичних технологій під час створення вимірювачів температури цього типу дає можливість визначити температуру більш точно і комфортно в порівнянні з пірометрами, які мають нитку розжарювання, що зникає, а також одержувати достовірні результати вимірювань через цифрове оброблення сигналів.

Умонтована в прилад пам'ять результатів вимірювань досить актуальна під час моніторингу температурного стану великої кількості об'єктів.

Пірометер Термоскоп – 100 має такі основні характеристики:

- діапазон вимірювання температури – від -20 до 2000°C;
- точне наведення приладу на об'єкт вимірювання за допомогою лазерного покажчика;
- налаштування випромінювальної здатності;
- точність вимірювання – 1%;
- відтворюваність результатів вимірювання – 0,5%;
- швидкодія – 250 мс;
- випромінювальна здатність – налаштовується від 0,1 до 1,0 з кроком 0,01;



- алгоритми: вимірювання, вибирання максимальних, мінімальних і середніх значень, визначення різниці між максимальними і мінімальними значеннями вимірів;
- живлення – автономне (дві батарейки типу АА);
- робочі температури – від -10 до +50°C;
- маса – 0,5 кг;
- габаритні розміри – 155 x 163 x 56 мм.



Рис.7.52. Ручний пірометр Термоскоп-300-1С

**Ручні інфрачервоні пірометри серії Термоскоп-300 з настроюваною фокусною відстанню.**

Представником цієї серії є пірометр Термоскоп-300-1С (рис.7.52) – професійний інструмент часткового випромінювання з вузьким спектральним діапазоном для оперативного контролю температури високо- і середньотемпературних технологічних процесів. Оптичний візор пірометра дає можливість точно наводити прилад на об'єкт і одночасно спостерігати за вимірюваною температурою. Фокусна відстань, яку можна змінювати, дає можливість одержувати результати вимірів з високою відтворюваністю на будь-якому віддаленні пірометра від об'єкта вимірювання температури.

Зовнішнє живлення, цифровий інтерфейс і можливість закріплювання пірометра на штативі дають можливість використовувати прилад під час тривалого моніторингу температури.

Основні технічні характеристики і особливості приладу:

- змінювана фокусна відстань;
- температурний діапазон вимірювання – від 300 до 2000°C;
- висока точність – 0,5%;
- відтворюваність – 0,25%;
- швидкодія – 100 мс;
- цифрове оброблення сигналу з можливістю вибирання алгоритму;
- алгоритм: вимірювання, визначення максимальних, мінімальних і середніх значень, визначення різниці між максимальними і мінімальними значеннями;
- робочі температури – від -10 до +50°C;
- маса – 0,5 кг;
- габаритні розміри – 181 x 109 x 60 мм.

**Термоскоп-300-2С** – пірометр спектрального відношення, призначений для безконтактного вимірювання температури нагрітих тіл у складних виробничих умовах. Його використовують для забезпечення необхідних точних характеристик під час контролю високотемпературних технологічних процесів: сталеливарне виробництво, термічне оброблення виробів, плавлення руди, прокатування дроту і різних профілів, індукційне нагрівання деталей тощо.

Принцип спектрального відношення дає можливість вилучити багато негативних факторів, які знижують точність вимірювання температури пірометрами часткового випромінювання (нестабільність випромінювальної здатності об'єкта, наявність пилу в атмосфері і екранівних елементів у полі огляду тощо).

Основні характеристики приладу:

- спектральний діапазон – 0,9/1,0 мкм;
- температурний діапазон вимірювання – від 700 до 2000°C;
- відтворюваність результатів вимірювання – 0,5%;
- точність вимірювання температури – 0,75%
- робоча температура навколишнього середовища – від – 10 до + 50°C;
- маса, не більше 0,5 кг;
- габаритні розміри – 181 x 109 x 60 мм.

**Стаціонарні пірометри часткового випромінювання з широким вибором температурних і спектральних діапазонів.** Представником цієї серії пірометрів є **Термоскоп-200** (рис.7.53) – спроектований для масового використання в промисловості. Через широкий вибір температурних і спектральних діапазонів він охоплює практично повний спектр задач температурного контролю технологічних процесів на підприємствах.

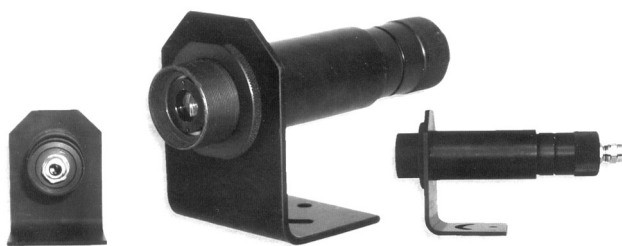


Рис.7.53. Стаціонарні пірометри серії Термоскоп-200

Індивідуальне калібрування кожного параметра і цифрова компенсація навколишньої температури гарантують високу точність вимірювань і взаємозамінність приладів.

Пиловологонепроникливий корпус пірометра і водововітряний захисний кожух гарантують надійну експлуатацію приладу у важких заводських умовах.

Пірометр Термоскоп-200 сконструйований для заміни застарілого радіаційного телескопа ТЕРА-50.

Основні технічні характеристики приладу:

- температурний діапазон вимірювання – від  $-20$  до  $2000^{\circ}\text{C}$ ;
- точність вимірювання –  $1\%$ ;
- відтворюваність результатів –  $0,5\%$ ;
- швидкодія –  $500$  мс;
- робочі температури навколишнього середовища:
  - без охолодження приладу – від  $-10$  до  $70^{\circ}\text{C}$ ;
  - з охолоджуваним захисним кожухом – від  $-10$  до  $+130^{\circ}\text{C}$ ;
- маса –  $0,5$  кг;
- габаритні розміри –  $190 \times 45 \times 45$  мм.



Рис.7.54. Стационарный пирометр серии Термоскоп-800

### **Високоточні стаціонарні інфрачервоні пірометри з настроюваною фокусною відстанню.**

Представником цієї серії пірометрів є **Термоскоп -800-1С** (рис.7.54) Його використовують для точного вимірювання температури під час контролю високо-температурних технологічних процесів у металургії, машинобудуванні, у виробництві вогнетривких матеріалів, у хімічній галузі тощо.

Змінювана фокусна відстань дає можливість здійснювати вимірювання температури з високою відтворюваністю результатів на будь-якій відстані пірометра від об'єкта контролю.

Високі показники візування дають можливість вимірювати температуру малих об'єктів, а вмонтований оптичний візор дає можливість легко і точно наводити пірометр на об'єкт.

Цифрова індикація вимірюваної температури і клавіатура, які розташовані на задній панелі приладу, дають можливість оперативно налаштовувати коефіцієнт випромінювальної здатності і параметри алгоритмів оброблення сигналів.

Широкий набір аксесуарів дає можливість легко і надійно установлювати пірометр на об'єкті і захистити його від різних агресивних середовищ.

Основні технічні характеристики:

- температурний діапазон вимірювання – від  $300$  до  $2000^{\circ}\text{C}$ ;
- точність вимірювання –  $0,5\%$ ;
- відтворюваність результатів –  $0,25\%$ ;
- швидкодія –  $50$  мс;

- робочі температури:
  - без охолодження приладу – від -10 до +60°C;
  - з охолодженням захисним кожухом – від -10 до +130°C
- маса – не більше 1,3 кг;
- габаритні розміри – 201 x 80 x 80 мм.

**Термоскоп-800-2С** – пірومتر спектрального відношення, призначений для безконтактного вимірювання температури нагрітих тіл у складних виробничих умовах. Його використовують для забезпечення необхідних характеристик високої точності під час контролю високо-температурних процесів, таких як сталеливарне виробництво, термічне оброблення, індукційне нагрівання, обертові печі тощо.

Принцип спектрального відношення дає можливість вилучити негативні фактори, які знижують точність вимірювання температури традиційними пірометрами.

Основні технічні характеристики пірметра:

- температурний діапазон вимірювання – від 700 до 2000°C;
- точність вимірювання – 0,75%;
- відтворюваність результатів вимірювань – 0,5%;
- робоча температура:
  - без охолодження приладу – від -30 до +60°C;
  - з охолодженням кожухом – від -30 до +130°C;
- маса – не більше 1,3 кг;
- габаритні розміри – 200 x 80 x 80 мм.

**Стаціонарні оптиковолоконні пірметри з цифровим обробленням сигналу і високою швидкістю.**

Оптиковолоконний пірметр **Термоскоп-600-1С** (рис.7.55) – пірومتر часткового випромінювання з вузьким спектральним діапазоном, призначений для контролю температури середньо- і високотемпературних процесів у металургії, машинобудуванні, хімічній галузі тощо і розроблений спеціально для використання в складних виробничих умовах.

Пірметр складається із двох основних пристроїв: оптичної головки і контролера, з'єднаних між собою оптиковолоконним кабелем. Таке компонування приладу дає можливість установлювати компактну головку в труднодоступних місцях при температурі навколишнього середовища до 200°C.

Оптична головка і оптиковолоконний кабель абсолютно не реагують на дію електромагнетних полів. Металорукав із неіржавкої сталі надійно захищає оптиковолоконний кабель від механічної дії і впливу агресивного навколишнього середовища.

Контролер приладу оснащений дисплеєм і клавіатурою, які дають можливість оперативно контролювати виміряну приладом температуру і налаштувати пірومتر.



Рис.7.55. Оптиковолоконний пірومتر Термоскоп 600-1С

Додатково пірومتر може бути укомплектований спеціальним захисним керамічним чохлам. Оптична головка приладу фокусується на дно чохла. Така схема дає можливість вимірювати температуру середовища, в якому знаходиться захисний чохол – аналог термопари.

Основні технічні характеристики пірметра:

- температурний діапазон вимірювання – від 300 до 2000°C;
- точність вимірювань – 0,5%;
- відтворюваність результатів вимірювань – 0,25%;
- швидкодія – 20 мс;
- робоча температура навколишнього середовища:
  - оптична головка – від -30 до 200°C;
  - оптиковолоконний кабель – від -30 до 200°C;
  - контролер – від -30 до 60°C;
- довжина оптиковолоконного кабелю – 20 м і більше;
- маса повного комплекту – не більше 1,8 кг.

Оптиковолоконний пірومتر спектрального відношення **Термоскоп-600-2С** призначений для безконтактного вимірювання температури нагрітих тіл у складних виробничих умовах. Його використовують для забезпечення необхідних точних характеристик підчас контролю високотемпературних технологічних процесів: виплавлення сталі, термічного оброблення та індукційного нагрівання виробів тощо.

Принцип спектрального відношення дає можливість вилучити негативні фактори, які знижують точність вимірювання температури традиційними пірметрами.

Основні технічні характеристики приладу:

- температурний діапазон вимірювання – від 700 до 2000°C;
- точність вимірювання – 0,75%;
- відтворюваність результатів вимірювань – 0,5%;
- швидкодія – 20 мс;
- робоча температура навколишнього середовища:
  - оптична головка – від -30 до 200°C;
  - оптиковолоконний кабель – від -30 до 200°C;

контролер – від -30 до 60°C.

Прилад має пиловологонепроникливий корпус оптичної головки, контролера і оптиковолоконного кабелю.

**Інфрачервоний високотемпературний термоперетворювач Термоскоп-600-ТПИК** на базі стаціонарного оптиковолоконного пірометра (рис.7.56) – спроектований для заміни платинових і платино-родієвих термопар.

Термоскоп-600-ТПИК складається із двох пристроїв: пірометра Термоскоп-600-1С і захисного чохла.

Захисний чохол виконаний у вигляді труби із жароміцної неіржавкої сталі і порожнистого керамічного чохла, склеєних між собою спеціальним клеєм. Оптична головка пірометра Термоскоп-600-1С направлена на дно керамічного стакана.

Така конструкція приладу дає можливість вимірювати температуру газоподібних середовищ, інертних газів і повітря.

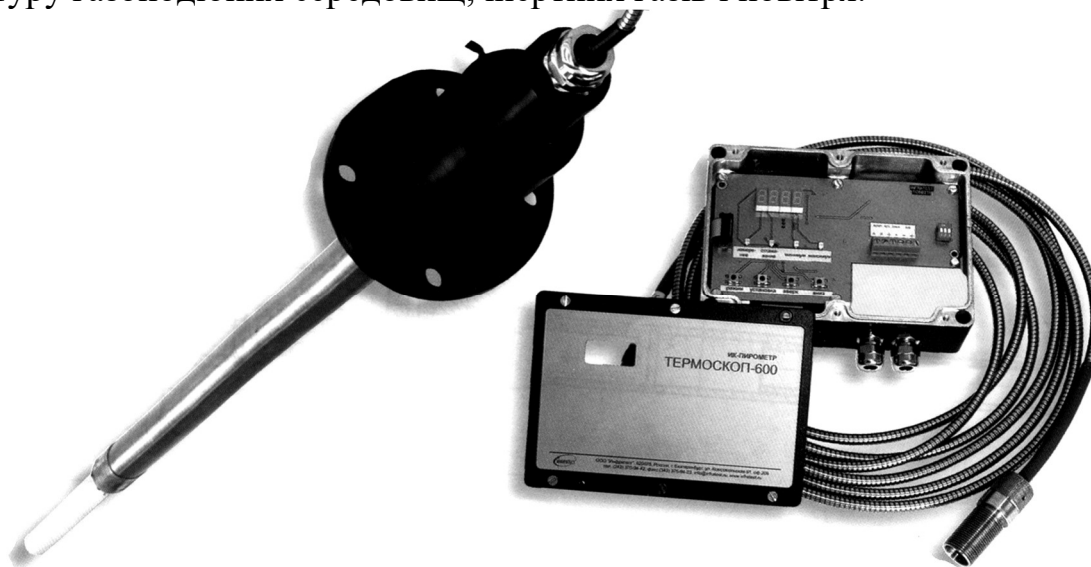


Рис.7.56. Високотемпературний інфрачервоний перетворювач Термоскоп-600-ТПИК

На відміну від звичайних термоперетворювачів система Термоскоп-600-ТПИК більш швидкодійна і довговічна, не піддається корозії під дією високих температур і газів, а показники температури абсолютно не залежать від дії електромагнетних полів.

Усі електричні і фізичні характеристики приладу однакові з приладом Термоскоп-600-1С.

Захисний чохол може мати довжину від 500 до 2000 мм.

**Високоточні стаціонарні інфрачервоні пірометри з цифровим обробленням сигналу, унікальною оптичною системою і винятко-**

**вими програмними можливостями Термоскоп-004** (рис.7.57) – використовують для точного вимірювання температури підчас контролю високотемпературних технологічних процесів. На замовлення Термоскоп-004 виготовляють з різними температурними і спектральними діапазонами.



Рис.7.57. Високоточний стаціонарний пірометр Термоскоп-004

Основні галузі використання приладу – чорна і кольорова металургія, виробництва високовогнетривких матеріалів і виробів, хімічна і скляна промисловість, прокатне, ливарне і ковальсько-пресове виробництво тощо.

Конструкція оптичної головки дає можливість установити прилад у місцях з високою вібрацією, сильним електромагнетним полем тощо.

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірювання температури – від 300 до 2000°C;
- спектральний діапазон – від 0,75 до 1,65 мкм;
- точність вимірювання – 0,5%;
- відтворюваність результатів вимірювань – 0,25%;
- швидкодія – 20 мс;
- робочі температури навколишнього середовища:
  - без охолодження приладу – від -30 до +60°C;
  - з охолодженням захисним кожухом – від -30 до +130°C
- маса приладу – не більше 1,3 кг.

**Пірометр інфрачервоний С-20.1** (рис.7.58) – призначений для безконтактного вимірювання температури поверхонь твердих і рідких середовищ за їх власним тепловим випромінюванням.

Галузі використання: енергетика (діагностика контактних з'єднань), теплоенергетика, житлово-комунальне господарство тощо.

Основні технічні характеристики:

- робочі температури вимірювання – від 0 до 45°C;
- діапазон вимірюваних температур – від -18 до +500°C;
- спектральний діапазон – 8...14 мкм;
- коефіцієнт випромінювальної здатності – 0,95;
- точність вимірювання –  $\pm 2\%$ ;
- маса приладу – 1,3 кг;
- габаритні розміри – 175 x 100 x 49 мм.

**Пірометр інфрачервоний С-110 „Факел”** (рис.7.59) – призначений для безконтактного вимірювання температури поверхонь твердих тіл, води тощо за їх власним тепловим випромінюванням.

Галузі використання: енергетика, теплоенергетика (температурний контроль стану теплотрас, теплоізоляції, будівель тощо), енергоатомбуд, машинобудування.

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірюваних температур – від -20 до +200°C;
- робочі температури вимірювання – від 0 до +45°C;
- відстань від приладу до об'єкта – від 1,2 до 50 м;
- відносна погрішність вимірювання – 1,5%;
- маса приладу – 0,9 кг;
- живлення – 3 В.

**Пірометр С-500 „Самоцвіт”** (рис.7.60) – призначений для безконтактного вимірювання температури поверхонь твердих (сипких) тіл та рідин за їх власним тепловим випромінюванням. Галузі використання: металургія, енергетика, машинобудування, цементна, скляна, коксохімічна та легка промисловості.

Основні технічні характеристики:

- робочі температури вимірювання – від 0 до 45°C;
- діапазон вимірюваних температур – від 400 до 1600°C;
- відносна похибка вимірювання –  $\pm 1\%$ ;
- об'єм пам'яті – 64 Кб;
- маса приладу – 0,8 кг;
- габаритні розміри – 205 x 150 x 85 мм.



Рис.7.58. Інфрачервоний пірометр С-20.1



Рис.7.59. Інфрачервоний пірометр С-110 „Факел”

**Пірометр інфрачервоний С-700 „Стандарт”** (рис.7.61) – призначений для використання як інфрачервоний датчик з аналоговим ви-



ходом 4...20 мА або цифровим RS-485 під час вимірювання температури поверхонь твердих тіл і розплавів різних матеріалів безконтактним способом за їх власним тепловим випромінюванням.

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірюваних температур – від 700 до 2200°C;
- мінімальна відстань від приладу до об'єкта контролю – 0,1 м;
- спектральний діапазон роботи приладу – 0,85...0,97 мкм;
- відносна похибка вимірювання –  $\pm 0,5\%$ ;
- швидкодія – 0,5 с;
- термін експлуатації приладу – 10 років;
- умови експлуатації приладу:
  - робота без охолодження – від -20 до +80°C;
  - робота з охолодженням – до +120°C;
  - відносна вологість – до 90%;
- маса приладу – 0,3 кг;
- габаритні розміри – 32 x 220 мм.



Рис.7.60. Загальний вигляд пірометра С-500 „Самоцвіт”



Рис.7.61. Інфрачервоний пірометр С-700 „Стандарт”

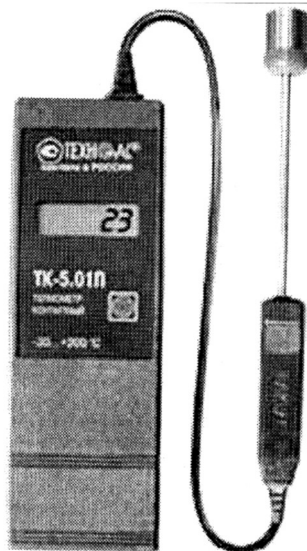


Рис.7.62. Цифровий термометр ТК-5.01П

**Термометр ТК-5.01П** (рис.7.62) – призначений для вимірювання температури рідких і сипких середовищ через безпосередній контакт зонда з об'єктом контролю. Термометр – цифровий і складається із електронного блока і незмінюваного занурювального зонда. Як термочутливий елемент у зонді використовують перетворювачі термоелектричні (ТП).

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірюваних температур – від -20 до +200°C;

- відносна похибка вимірювання –  $\pm 2\%$ ;
- робочі температурні умови експлуатації – від  $-20$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ;
- живлення – 9 В.

**Переносний універсальний прилад УПІТ-1** (рис.7.63) – призначений для вимірювання температури розплавів на основі заліза і кольорових металів, поверхонь металевих форм, прес-форм і заготовок, які нагріваються, а також робочих зон термічних печей.

Вимірювання температури здійснюють контактним методом за допомогою термопар.

Чотирирозрядне цифрове табло забезпечує роздільну здатність  $1^{\circ}\text{C}$  при точності вимірювання  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

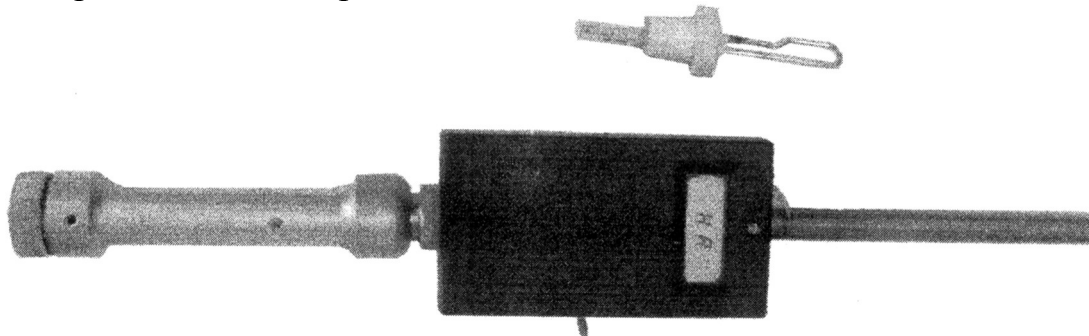


Рис.7.63. Універсальний вимірювач температури УПІТ-1

Верхня межа вимірювання температур регламентована типом і конструкцією використовуваної термопар. Прилад універсальний і дає можливість використовувати термопари, які мають номінальні статичні характеристики. Можливе перетворення шкали  $^{\circ}\text{C}$  у шкали Кельвіна і Фаренгейта.

Автоматично виконуються такі функції:

- самодіагностика схеми вимірювання і стану батарей живлення;
- сигналізація щодо готовності приладу до роботи і закінчення процесу вимірювання температури;
- перетворення термоЕРС у поточні значення температури з урахуванням нелінійності термопар і температури її „холодних кінців“;
- запам'ятовування результатів вимірювання з фіксацією показу на табло після видалення термопарі із зони вимірювання і збереження його до вимкнення приладу.

Живлення приладу – 4,5 В, роботоздатність його зберігається навіть після розрядження батареї до 55%.

Габаритні розміри без з'єднувальної арматури –  $145 \times 81 \times 40$  мм.

Маса приладу без з'єднувальної арматури – не більше 0,3 кг.

**Пірометри спектрального відношення серії ДПР-1** (рис.7.64) – призначені для безконтактного вимірювання температури поверхні нагрітих об'єктів незалежно від їх випромінювальної здатності.

Методика вимірювання базується на використанні залежності відношення енергетичних яскравостей у двох спектральних зонах.

Розраховування цього відношення, врахування температури навколишнього середовища і аналіз результатів вимірювань заносять у програму і вводять у мікропроцесор, який дає можливість здійснювати високоточне оброблення і корекцію вимірювань.



Рис.7.64. Пірометр спектрального відношення ДПР-1

Чутливий елемент приймача випромінювання уявляє собою плоско-паралельну пластину, виготовлену із високоомного поляризованого піроелектричного матеріалу. На зворотньому боці пластини напилени електроди.

Під дією випромінювання пластина нагрівається і її спонтанна поляризація зменшується, що призводить до зміни заряду конденсатора, який

реєструється.

Незалежність чутливості піроприймача від температури надає можливості роботи приладів на їх основі без термостабілізації.

Результати вимірювань виводять на цифровий індикатор (дисплей) і на розніми в аналоговій формі із струмом від 4 до 20 мА і в цифровій – через RC 485 або RC 232.

У приладах використовують зарядний пристрій, який дає можливість приладам працювати від акумуляторів 12 В або від мережі 220 В.

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірюваних температур – від 330 до 3000°C;
- точність вимірювання -  $\pm 5^\circ\text{C}$ ;
- рівень чутливості –  $1^\circ\text{C}$ ;
- час вимірювання – 0,25 с;
- діапазон відстаней від приладу до об'єкта – 0,4...50,0 м;
- час безперервної роботи:
  - від акумуляторів – 8 год.;
  - від зовнішнього джерела – цілодобово;
- середнє напрацювання на відмову – 16000 год.;
- габаритні розміри приладу – 122 x 114 x 275 мм;

– маса – не більше 2,0 кг.

Пірометри забезпечують:

– високу точність вимірювання температури в усьому діапазоні;

– надійність і стабільність результатів вимірювань;

– незалежність результатів вимірювань від стану навколишнього середовища (забруднення газами, водяною парою, пилом тощо);

– можливість точного вимірювання температури рухомих і вібраційних об'єктів;

– можливість точного вимірювання температури алюмінієвих розплавів;

– незалежність точності вимірювання від поверхні об'єкта (часткове забруднення оксидами, шлаками тощо).

Прилади можуть працювати в умовах дії магнетних полів (працюють біля індукційних печей) і не реагують на часткове забруднення об'єктива приладу.

Використання пірометрів серії ДПР-1:

– у металургійній промисловості для вимірювання температури розплавлених металів у ковшах, металевих формах, підчас випускання чавуну із доменних печей, для контролю температури об'єктів на прокатних станах тощо;

– у ливарному виробництві підчас виплавлення сплавів у різних плавильних агрегатах та розливання рідкого металу у форми;

– для здійснення контролю температури швів у процесі зварювання та нагрівання виробів у процесі їх термічного оброблення тощо.

**Односпектральні інфрачервоні пірометри серії ДПР-1.1** є найновішими і спроектовані для використання в тих галузях, де необхідні високі точність і оптична роздільність в умовах невизначеної і змінюваної випромінювальної здатності об'єкта.

Високотемпературні моделі пірометрів ДПР-1.1 доцільно використовувати для контролю температур у ливарному виробництві, металургії, в ковальських цехах та цехах термічного оброблення виробів різного призначення, в хімічній, нафтохімічній та інших галузях.

Низькотемпературні моделі пірометрів ДПР-1.1 найкраще використовувати для контролю температур різних технологічних процесів.

Технічні характеристики одно спектральних інфрачервоних пірометрів серії ДПР-1.1 не відрізняються від характеристик пірометрів серії ДПР-1.

**Термоелектричний аналізатор ТЭА-Ц (рис.7.65)** – призначений для контролю вмісту домішок у металах та легувальних елементів в однофазних сплавах, для контролю однорідності за хімічним складом злитків із однофазних металів і сплавів, для сортування технічних сортів алюмінію, міді, титану та інших металів за марками.

Принцип дії – вимірювання термоЕРС між контрольованим виробом і датчиком з двома спеціальними електродами при автоматичному підтримуванні сталої різниці температур між електродами.

Перевага приладу полягає в тому, що він, на відміну від аналогічних електромагнетних приладів, не потребує наявності на контрольованому виробі плоскої поверхні, а тому за його допомогою можна контролювати труби, прутки і дрід.



Якість контролю приладом конкретних металів забезпечують вибиранням матеріалу електродів.

Прилад автоматично здійснює цифрову індикацію результатів вимірювання і сигналізує щодо готовності приладу до роботи.

Основні технічні характеристики:

- базова відстань між електродами – 30 мм;
- час виходу приладу на стабільний режим роботи – 10 хв.;
- тривалість одного вимірювання – 3...5 с;
- споживана потужність – не більше 10 Вт;
- габаритні розміри приладу – 200x60x30 мм.

#### Тепловізійна камера IRI 1011 (рис. 7.66)

– призначена для вирішення великої кількості задач, зв'язаних з оцінюванням температурних полів на невеликих відстанях.

Рис.7.65. Термоелектричний аналізатор ТЭА-Ц

Основні технічні характеристики камери:

- діапазон вимірюваних температур –  $-10...+300^{\circ}\text{C}$ ;
- чутливість –  $0,3^{\circ}\text{C}$ ;
- тип приймача – не охолоджувана матриця  $16 \times 16$ ;
- поле зору (лінза) –  $20^{\circ}\times 20^{\circ}$ ;
- спектральний діапазон –  $8...14 \text{ мкм}$ ;



- об'єм пам'яті – 1000 знімків / 1 Мб;
- маса камери – 0,6 кг.

Рис.7.66. Тепловізійна камера IRI 1011

Комплект містить програмне забезпечення, кишеньковий ПК, акумулятори із зарядним пристроєм, кабель для приєднання ПК до камери тощо.

**Виробнича компанія „ТЕСЕЙ”** (Росія, м. Обнинськ) з використанням сучасних технологій виготовляє величезну гаму термоелектричних перетворювачів різного призначення і конструкцій: хромель-алюмелеві, хромель-копелеві, ніхросил-нісил і залізо-константан, платинові типів ТППТ і ТПРТ, мідні типу ТСМТ тощо.

### 7.7 Електромагнетний (вихорострумівий) контроль

Величина вихорових струмів у металі залежить від багатьох факторів і, перш за все, від електропровідності металу та відстані між перетворювачем і контрольованим об'єктом.

Наявність дефекту в поверхневому шарі металу еквівалентно зміні його електропровідності.

Цей фактор враховують як під час конструювання приладів для електромагнетного контролю, так і під час виявлення дефектів у поверхневих та підповерхневих шарах виробу. Вихорострумівий контроль забезпечений великою кількістю приладів різної конструкції.

Дефектоскопія методом вихорових струмів стала одним із найбільш важливих способів тестування, які використовують у промисловості. Вона може повною мірою інтегруватися у виробничі лінії, незалежно від того, використовують малі чи великі швидкості, холодні чи гарячі метали. Вона дає можливість операторам металургійних заводів оперативно приймати відповідні рішення або корегувати технологічні процеси до того, як появляється брак або виникне потреба в серйозному ремонті.

Прилади вихорострумової дефектоскопії легко установлювати і легко експлуатувати, вони забезпечують надійні результати вимірювання з високою відтворюваністю.

Нижче наведені дефектоскопи, які використовують у промисловості найчастіше.

**Вихорострумний дефектоскоп ВД-33Н** (рис.7.67) – призначений для виявлення дефектів у вигляді тріщин у поверхневих і підповерхневих шарах металевих виробів (різні марки сталі, алюмінієві і титанові сплави тощо) у всіх галузях промисловості.

Прилад може бути використаний для контролю якості виробів у лабораторних, цехових і польових умовах. Подвійна сигналізація дефектів (світлова і звукова) дає можливість використовувати прилад в умовах високого шуму і недостатньої освітленості.

Прилад має легкий, із удароміцного пластика, корпус, надійну клавіатуру, швидке налаштування приладу одним натисканням на кнопку, регулювання чутливості, вихорострумні перетворювачі для плоских поверхонь і важкодоступних місць, взаємозамінність перетворювачів тощо.



Рис.7.67. Вихорострумний дефектоскоп ВД-33Н

Основні характеристики приладу:

- мінімальні розміри дефектів, які можна виявити приладом – 0,001x4x0,3 мм;
- максимальний зазор між вихорострумним перетворювачем і об'єктом контролю – 0,2 мм;
- радіус кривини контрольованої поверхні – до 50 мм;
- діапазон робочих температур – від 0 до 40°C;
- габаритні розміри приладу – 70x138x27 мм;
- маса – 0,2 кг.

**Дефектоскоп вихорострумний ВД-001** (рис.7.68) – легкий

переносний прилад для контролю магнетних і немагнетних сталей, кольорових металів і сплавів на їх основі у виробничих або польових умовах.

Прилад використовують для виявлення тріщин, які розповсюджуються на поверхню (у тому числі і під шаром фарби), і оцінки їх глибини.



Рис.7.68. Вихорострумний дефектоскоп ВД-001

Прилад має високу чутливість у поєднанні з простотою обслуговування під час контролю. Галузі використання приладу: продукція металургії і машинобудівної промисловості, контроль якості котлів, труб і інших об'єктів енергетичного виробництва, деталей складної конфігурації, елементів устаткування в процесі його експлуатації і проведення ремонтних робіт тощо.

Прилад має автоматичний захист від впливу електромагнетних властивостей виробу, а алмазна вставка на робочому торці датчика суттєво підвищує його зносостійкість. Вмонтована в прилад сучасна мікро-ЕВМ забезпечує йому надійність під час експлуатації та високу відтворюваність результатів контролю. Дефектоскоп може працювати в режимі оцінювання глибини виявленої тріщини.

Основні характеристики приладу:

- простяжність виявлених дефектів – не менше 4 мм;
- глибина дефектів, які можна виявити – від 0,2 мм;
- розкриття дефектів, які можна виявити приладом – від 0,01 мм;
- допустима товщина лакофарбових покриттів – до 0,3 мм;
- мінімальний радіус кривини контрольованої поверхні виробу – 10 мм;
- шорсткість поверхні –  $R_a$  не більше 3,2 мкм;
- діапазон робочих температур – від +5 до +40°C;
- живлення – автономне і від мережі через адаптер;
- габаритні розміри – 150 x 30 x 30 мм;
- маса приладу – 0,4 кг.

**Дефектоскоп вихорострумний ВД-87НСт** (рис.7.69) - призначений для виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів у виробках з електропровідністю від 0,5 до 54 МСМ/м. Оснащений набором накладних статистичних перетворювачів.

Прилад має автоматичний захист від факторів, які можуть впливати на достовірність контролю, дає можливість здійснювати кількісну оцінку глибини виявлених дефектів. Дефектоскоп доцільно використовувати для контролю виробів складної геометрії в авіаційній, машинобудівній, автомобільній та інших галузях промисловості.





Рис.7.69. Вихорострум-  
вий дефектоскоп ВД-87НСт

- максимальний робочий зазор між вихорострумовим перетворювачем і контрольованою поверхнею – 0,2 мм;
- живлення –  $220 \pm 20$  В, 50Гц;
- робочі температури – від +5 до 50°C.

**Вихорострумний дефектоскоп ВД-12НФМ** – призначений для виявлення поверхневих тріщин на деталях із феромагнетних матеріалів з грубою плоскою і криволінійною поверхнями, переважно у виробках залізничного рухомого складу, наприклад, диски вагонних коліс, корпуси автозчепів, бокові рами, надресорні балки тощо.

Дефектоскоп можна використовувати для контролю виробів із алюмінієвих і мідних сплавів, зокрема, необроблених литих деталей з шорсткістю поверхні до  $R_z 320$ .

Прилад оснащений світловою і звуковою сигналізаціями, що дає можливість контролювати вироби в умовах шуму і недостатньої освітленості місця контролю.

Прилади виготовляють на замовлення з різними технічними характеристиками.

**Вимірювач електропровідності ИЭ-199** (рис.7.70) – призначений для контролю немагнетних металів і сплавів. За його допомогою можна здійснювати:

- оцінку ступеня чистоти металу;
- сортування металів і сплавів;
- оцінку відхилень від заданих хімічного складу, структури, а також фізико-хімічних властивостей металевих виробів, які залежать від них;
- контроль якості термічного оброблення тощо.

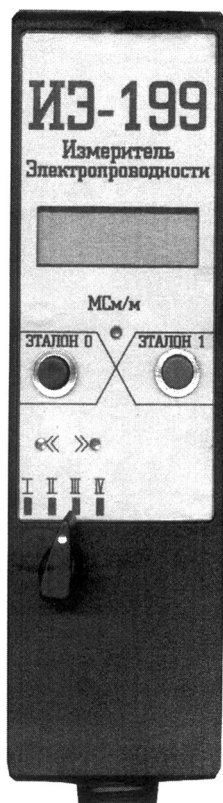
Основні технічні характеристики дефектоскопа:

– поріг чутливості до поверхневих дефектів та виробках із алюмінієвих сплавів, мм:

глибина –  $0,2 \pm 0,02$ ;

ширина –  $0,1 \pm 0,02$ ;

– допустима похибка під час вимірювання глибини поверхневих дефектів у діапазоні від 0,5 до 2,0 мм – не більше  $\pm(0,1+0,4X)$ , де X – вимірювана величина;



Принцип дії приладу полягає у вимірюванні електропровідності вихорострумовим методом.

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірювання – 60...0,5 Мсм/м;
- допустима похибка вимірювання – не більше 2%;
- зона контролю – не менше 25 мм;
- товщина контрольованого виробу – не менше 2 мм;
- шорсткість поверхні контрольованого виробу,  $R_z$  – не більше 160;
- живлення – 9 В (Крона);
- габаритні розміри – 200 x 60 x 35 мм.

Рис.7.70. Вимірювач електропровідності ИЭ-199

## 7.8 Прилади для контролю якості поверхні виробів відповідального і особливо відповідального призначення

Ефективне використання методів і засобів неруйнівного контролю і технічної діагностики виробів відповідального і особливо відповідального призначення гарантує підвищення рівня безпеки на промислових об'єктах, дає можливість попередити аварії і катастрофи або зменшити їх наслідки та значно підвищити якість продукції.

**Тріщиновимірювач електропотенціальний ТЕП-1** (рис.7.71) – легкий переносний прилад для контролю відповідальних деталей із ферромагнетних сталей.



Рис.7.71. Тріщиновимірювач електропотенціальний ТЕП-1

приладу під час експлуатації.

Дефектоскоп забезпечує визначення глибини тріщин, які поширені на поверхню і попередньо виявленні іншими методами.

В основі принципу дії тріщиновимірювача використаний електропотенціальний метод, який характеризується високою точністю і стабільністю вимірів у поєднанні з простотою обслуговування

Використання в тріщиновимірювачі мікро-ЕВМ дає можливість:

- одержувати результати вимірювань глибини тріщини безпосередньо в міліметрах на графічному дисплеї;
- у процесі роботи з приладом захистити його від впливу електромагнетної дії з боку контролюваного виробу;
- постійно контролювати стан батарейки підчас автономного живлення приладу;
- автоматично вимикати прилад підчас пауз у його використанні.

Типовими об'єктами контролю є: вали, лопатки турбін, труби, штампи, валки, великогабаритні вироби, деталі складної конфігурації тощо.

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірювань:
  - вимірювальний – 0,5...30,0 мм;
  - оцінювальний – до 60 мм;
- похибка вимірювань –  $(0,1h + 0,2)$  мм ( $h$  – глибина тріщини);
- максимальне розкриття тріщини – 3 мм;
- радіус кривини контролюваної поверхні – не менше 15 мм;
- робочі температури – від +5 до +40°C.

**Електромагнетний індикатор тріщин ЭМИТ-1М** (рис.7.72) – призначений для виявлення поверхневих тріщин утомного, корозійного та технологічного характеру в магнетних і немагнетних металах.

Принцип дії приладу заснований на вимірюванні магнетного поля розсіювання в зоні тріщини.

Прилад малогабаритний, має автономне живлення, зносостійкі датчики; налаштування на роботу здійснюється автоматично: необхідно лише встановити датчик на контролювану поверхню, натиснути кнопку і через долю секунди прилад готовий до роботи.



Рис.7.72 Електромагнетний індикатор тріщин ЗМИТ-1М

- робочий температурний діапазон – від -20 до +60°C;
- діапазон відносної вологості – від 45 до 80%;
- габаритні розміри – 165 x 85 x 30 мм;
- маса приладу – 0,35 кг.

**Електроіскровий дефектоскоп Корона1** (рис.7.73) – призначений для контролю тріщин, поруватості, недопустимих потоншувань та інших порушень суцільності захисних покриттів металевих виробів прикладанням до них імпульсної високовольтної напруги і фіксуванням електричного пробую.

Основні технічні характеристики:

- діапазон регулювання напруги на електроді – від 2 до 15 кВ;
- товщина контрольованих покриттів – до 4 мм;
- найменший поперечний розмір виявленого дефекту – 0,3 мм;
- швидкість переміщення електрода – не більше 0,25 м/с.

Прилад надзвичайно безпечний у роботі, має великий набір змінних електродів для контролю виробів різного призначення.

**Товщиновимірювач покриттів ТП-34** (рис.7.74) – призначений для вимірювання товщини діелектричних і електропровідних неферомагнетних покриттів на феромагнетних матеріалах, аноднокислих, лакофарбових та інших діелектричних покриттів на неферомагнетних матеріалах, бітумних і товстошарових діелектричних захисних покриттів на виробках із електропровідних матеріалів, а також для контролю шорсткості поверхні після дробоструминного оброблення.

Прилад дає можливість контролювати поверхню без попереднього зачищення або якого-небудь підготовлення, фіксувати тріщини через шар фарби або ізоляції (до 2 мм), визначати тріщини в умовах неоднорідної структури металу (наприклад, у зоні зварових швів) тощо.

Основні технічні характеристики:

- діапазон індикації тріщини:
  - глибина – більше 0,25 мм;
  - довжина – більше 5 мм;
  - ширина – більше 0,01 мм;
- максимальна швидкість сканування – 0,5 м/с;



Рис.7.73. Електроіскровий дефектоскоп Корона 1



Рис.7.74. Товщино-вимірювач покриттів ТП-34



Принцип роботи приладу заснований на вимірюванні частоти генератора, в контур якого увімкнута навитка вихорострумowego параметричного перетворювача. Частота генерації залежить від товщини покриття. Результат вимірювання відображається на цифровому індикаторі.

**Магнетний товщино-вимірювач покриттів МТ-201** (рис.7.75) – призначений для вимірювання товщин немагнетних покриттів (хром, мідь, фарба, емаль, пластик тощо) на феромагнетній основі.

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірюваних товщин – 20...5000 мкм;
- похибка вимірювань – 3%;
- діапазон робочих температур – 0...40°C;
- габаритні розміри (без перетворювача) – 156 x 83 x 30 мм.

Рис.7.76. Ультразвуковий товщинувимірювач УТ-36М<sup>6</sup>

**Ультразвуковий товщино-вимірювач УТ-36М<sup>6</sup>**  
(рис.7.76) – призначений для

вимірювання товщини виробів із найпоширеніших матеріалів (з фіксованою швидкістю поширювання ультразвуку для кожного матеріалу):

- вуглецева сталь (5920 м/с);
- неіржавка сталь (5660 м/с);
- алюміній (6350 м/с);
- сірий чавун (4570 м/с);
- поліетилен низького тиску (2200 м/с);
- скло (5750 м/с),

за умови доступу до них з одного боку (листи, посудини, труби, трубопроводи, мостові, корпусні, транспортні та інші конструкції) в процесі їх виготовлення, експлуатації або ремонту в різних галузях промисловості.

Для підготовки приладу до роботи достатньо ввімкнути його, вибрати матеріал і здійснити калібрування на вмонтованому зразку.

Основні технічні характеристики:

- діапазон контрольованих товщин (для сталі) – 0,8...200,0 мм;
- абсолютна похибка вимірювання -  $\pm(0,1+0,01$  товщини);
- діапазон робочих температур для приладу -  $-5...+40^{\circ}\text{C}$ ;
- живлення – батарея 6F22 (Крона);
- габаритні розміри приладу – 145 x 82 x 32 мм;
- маса приладу з батареєю – не більше 0,4 кг.

**Магнетовимірювач дефектоскопічний МФ-23ИМ** (рис.7.77) – призначений для вимірювання постійних, змінних (промислової частоти) та імпульсних магнетних полів під час контролю феромагнетних виробів магнетопорошковим методом, а також контроль рівня індустриальних перешкод.

Принцип дії приладу заснований на вимірюванні індукції магнетного поля за допомогою перетворювача Холла з цифровою індикацією результатів вимірювань.

Основні технічні характеристики:

- діапазони вимірюваної індукції (напруженості) магнетних полів:
  - постійних – 0,5...1000,0 мТл (4...8000 А/см);
  - змінних і імпульсних – 2,0...1000,0 мТл (18...8000 А/см);
- похибка вимірювань:
  - для постійних і змінних магнетних полів –  $[5+0,0025(a/v-1)]$ , %;
  - для імпульсних магнетних полів –  $[10+0,0025(a/v-1)]$ , %;
  - а – показання індикатора в мТл або А/см;
  - в – верхня межа вимірювань у мТл або А/см;
- індикація результатів вимірювань – цифрова;



- об'єм пам'яті для запам'ятовування результатів – 4064 Мб;
- маса приладу – 0,38 кг.

**Вимірювач концентрації напруг магнетометричний ИКНМ-2ФП** (рис.7.78) – уявляє собою спеціалізований ферозондовий магнетовимірювач, призначений для вимірювання напруженості магнетного поля над поверхнею виробів із феромагнетного матеріалу для оцінювання залишкової намагнетованості.

За величиною і характером зміни вектора залишкової намагнетованості за спеціальною методикою оцінюють величину напружено-здеформованого стану виробу.

Вимірювач також забезпечує виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів у виробках із феромагнетних матеріалів.



Рис.7.77. Магнетовимірювач дефектоскопічний МФ-23ИМ

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірювання  $H_r$  -  $\pm 2000$  А/м;
- похибка вимірювань – не більше 5%;
- кількість каналів вимірювання  $H_r$  - 2;
- час одного вимірювання – не більше 0,1с;
- робочий температурний діапазон – від -20 до +600°C;
- діапазон відносної вологості – від 45 до 80%;
- габаритні розміри – 120 x 60 x 25 мм;
- маса приладу (з батареями) – 0,25 кг.

**Універсальний вимірювач шорсткості TR200** (рис.7.79) – цифровий вимірювач шорсткості поверхні, високоточний прилад з можливістю побудови графічних профілей на рідкокристалевому дисплеї. Дає можливість вимірювати 13 параметрів шорсткості поверхні:  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_y$ ,  $R_q$ ,  $R_t$ ,  $R_p$ ,  $R_{max}$ ,  $R_v$ ,  $R_{3z}$ ,  $RS$ ,  $RS_m$ ,  $RS_k$ ,  $R_{mr}$ .

Галузі використання: машинобудування, автомобілебудування, приладобудування тощо.

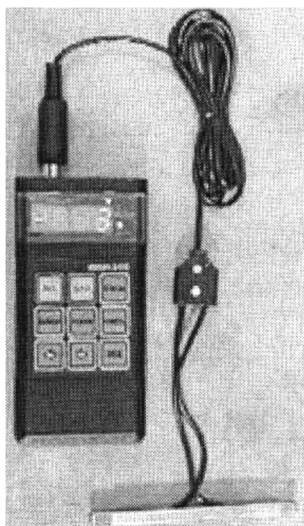


Рис.7.78. Вимірювач концентрацій напруг магнетометричний ИКНМ-2ФП



Рис.7.79. Універсальний вимірювач шорсткості поверхні виробів TR200



Рис.7.80. Портативний вимірювач шорсткості поверхні виробів TR100

**Портативний вимірювач шорсткості поверхні виробів TR100** (рис.7.80) – забезпечений сучасним мікропроцесором для збирання і оброблення даних з відображенням усіх результатів вимірювань. У корпусі приладу об'єднані процесор, дисплей і перетворювач. За допомогою перемикача користувач може вибрати одиниці вимірювання: Ra або Rz.

Додатково до вимірювань шорсткості плоских, заокруглених і похилих поверхонь приладом можна вимірювати шорсткість у пазах і заглибинах розміром не менше 80 x 30 мм.

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірювань – Ra: 0,5...10 мкм; Rz: 0,1...50 мкм;
- перетворювач - п'єзо-електричний;
- похибка вимірювань – не більше 5%;
- швидкість переміщення щупа - 1,0 мм/с;
- діапазон робочих температур – від 0 до +400°C;
- габаритні розміри приладу – 125 x 73 x 26 мм;
- маса – 0,2 кг.

**Дефектоскоп імпульсний електроіскровий ПУЛЬСАР-2И** (рис.7.81) – призначений для контролю суцільності ізоляційних покриттів (полімерних, епоксидних, бітумних тощо) трубопроводів, нафтогазопроводів та інших об'єктів у процесі їх експлуатації і ремонту.



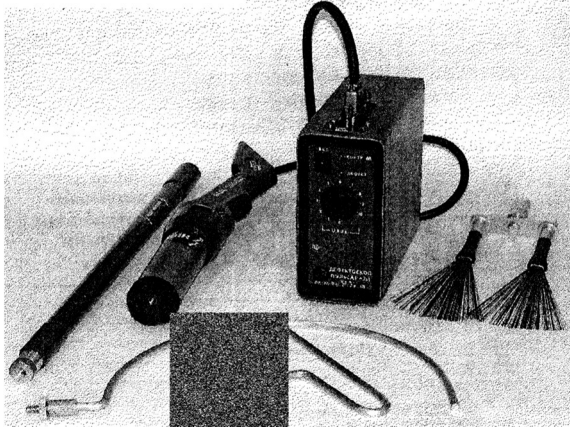


Рис.7.81. Дефектоскоп імпульсний електроіскровий ПУЛЬСАР-2И

- частота імпульсу – 30...35 Гц;
- відстань між двома дефектами, які фіксуються як різні – не менше 15...20 мм;
- загальна маса комплекту – 4,5 кг.

Прилад компактний, надійний, має звукову і світлову сигналізацію дефекту та плавне регулювання наруги.

Основні технічні характеристики:

- товщина контрольованих покриттів – до 12 мм;
- найменший діаметр виявленого дефекту – 0,1 мм;
- швидкість переміщення електрода – не більше 25 см/с;

## 7.9 Переносні і стаціонарні вимірювачі твердості



Рис.7.82. Портативний твердомір COMPUTEST та його використання

Портативний твердомір COMPUTEST (рис.7.82) – призначений для вимірювання твердості матеріалів і деталей різних форм і розмірів (під час вимірювання твердості малих деталей використовують штатив). Легкий і зручний у використанні прилад, попередня і робоча навантаги представляють собою одну операцію. Запатентований фірмою Ernst пристрій дає можливість здійснювати вимірювання нечутливими до відхилення або згину контрольованої деталі, а поверхневе підготування необхідне тільки в точках вимірювання. Використовують для випробувань труб, різних посудин, зон термічного впливу зварювання, складних виробів тощо.

Основні технічні характеристики:

- принцип функціонування – за методом Роквелла;
- навантага: 49 Н; прикладання навантаги – ручне;
- шкали вимірювань: HRC, HRB, HB/30, HV, Н/мм<sup>2</sup>;

- додаткові шкали – на замовлення;
- індентор-алмазний конус;



Рис.7.83. Твердомір DYNATEST та його використання

Функції приладу: вибирання шкали, допусків, визначення мінімальної товщини, статистичні обчислення, друкування, калібрування, час навантаження.

**Переносний твердомір DYNATEST** (рис.7.83) – призначений

для визначення твердості виробів із сплавів на основі заліза та кольорових металів за аналогічною методикою традиційних твердомірів, які визначають твердість за Роквеллом. Твердомір має такий же пристрій, як і прилад COMPUTEST, що суттєво підвищує точність вимірювань.

Основні технічні характеристики:

- принцип функціонування – за методом Роквелла;
  - робоча навантага – понад 980 Н;
  - шкали вимірювань: 15...68 HRC, 80...650 HB/30, інші – на замовлення;
  - індентори – алмазний конус або сталева кулька 1/16<sup>''</sup> для вимірювання твердості за Бринеллем;
  - індикація – цифровий рідкокристалевий дисплей;
- Функції приладу: вибирання шкали та допусків вимірювання, статистичні обчислення результатів вимірювання, визначення мінімальної товщини, калібрування, друкування.

**Динамічний твердомір ТД-32** (рис.7.84) – призначений для оперативного вимірювання твердості промислових виробів динамічним методом за шкалами Бринелля, Роквелла, Віккерса, Шора.

Твердомір можна використовувати для вимірювання твердості виробів у виробничих і лабораторних умовах на підприємствах машинобудування, металургії, енергетики, в ремонтних і монтажних організаціях, а також для діагностики залишкового ресурсу металу деталей машин і механізмів, для контролю твердості напівфабрикатів (вилівоків, викуванців, труб), зварових швів тощо. Необхідною умовою коректності вимірювань для ТД-32 є маса контрольованої деталі (не менше 2 кг) і її товщина (не менше 8 мм).

Діапазон вимірювань за шкалами:

- Роквелла, HRC – 20...70;
- Бринелля, HB – 95...460;
- Віккерса, HV – 95...950.



**Динамічний твердомір ТД-003М** (рис.7.85) – легкий переносний прилад для вимірювання твердості конструкційних матеріалів, деталей із вуглецевих і низьковуглецевих сталей та чавунів у польових або виробничих умовах.

Прилад можна використовувати для вимірювання твердості деталей із чавунів, неіржавких сталей і сплавів на основі кольорових металів у режимі „навчання” твердоміра на зразках твердості підприємства-замовника.

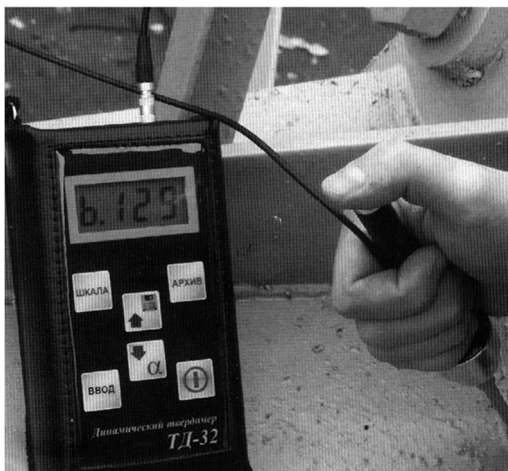


Рис.7.84. Динамічний твердомір ТД-32 та його використання

За принципом дії прилад є реалізацією динамічного методу оперативного контролю, який характеризується широким діапазоном і високою точністю вимірювань у поєднанні з простотою обслуговування приладу в процесі вимірювання твердості.

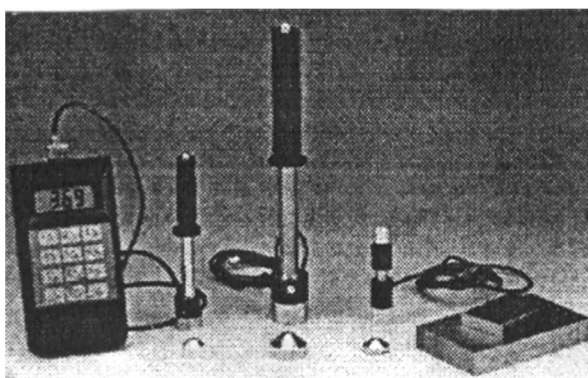


Рис.7.85. Динамічний твердомір ТД-003М

Діапазон вимірювань за шкалами:

- Роквелла – 20...  
...70 НРС, похибка – 2,0%;
- Бринелля – 95...  
...470 НВ, похибка – 4,0%;
- Віккерса – 240...  
...800 НV, похибка – 4,0%;
- Шора – 25...100 Нsh,  
похибка –  $\pm 2,0$  Нsh.



Рис.7.86. Стационарний твердомір NR 3D

**Стационарний твердомір NR 3D** (рис.7.86) – призначений для використання в лабораторіях з невеликою кількістю випробувань для випадків, коли потребується гарантована точність і здатність під-тверджувати результати випробувань за Роквеллом. Прилад можна використовувати для вимірювання твердості будь-яких матеріалів як металевих, так і деяких пластиків. Вироби можуть мати різні форми і розміри.

Технічні характеристики:

– робочий принцип – метод Роквелла;

– шкали: HRA, HRB, HRC, HRD, HRF, HRG, HB/30;

– головка для вимірювання за Супер-Роквеллом;

– індикатори: алмазний конус, кулька 1/16", кулька 2,5 мм;

– інформація – цифрова.

**Стационарний напівавтоматичний твердомір AT130D** (рис.7.87) – призначений для виконання швидких і точних вимірювань за Роквеллом і Бринеллем.

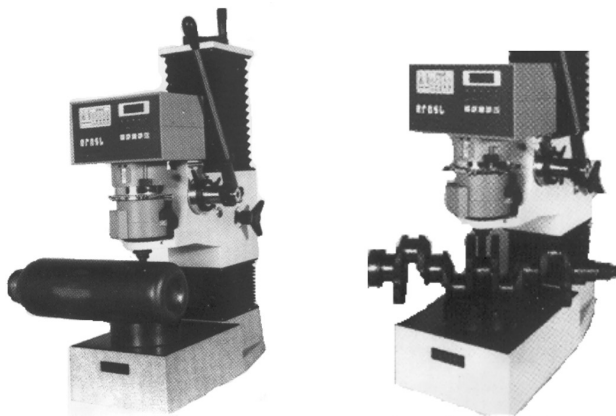


Рис.7.87. Стационарний напівавтоматичний твердомір AT130D у роботі

Попередня і робоча навантаги здійснюються протягом однієї операції за допомогою важеля. Випробовуваний виріб за-тискується без додаткових аксесуарів. У комплект входять спеціальні штативи чотирьох модифікацій, а запатентований пристрій дає можливість здійснювати точні вимірювання без урахування згину випробовуваної деталі.

Основні технічні характеристики:

– робочий принцип – метод Роквелла з додатковим виконанням за методом Супер-Роквелла;

- шкали: HRA, HRB, HRC, HRD, HRF, HRG, HRH, HRE, HRK, HB/30;

- індикатори: алмазний конус, кулька 1/16", кулька 2,5 мм;
- інформація – цифрова.

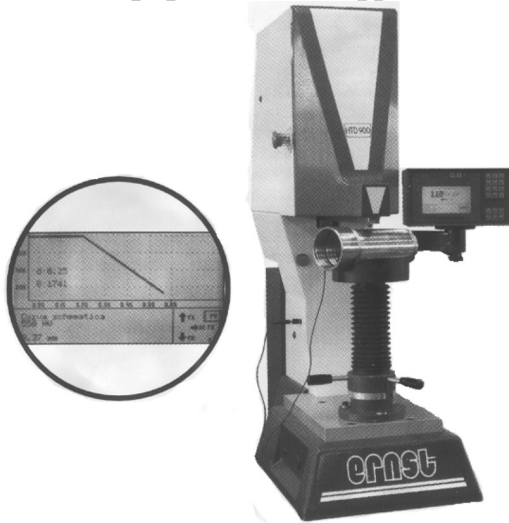


Рис.7.88. Автоматичний твердомір НТD900

**Автоматичний твердомір НТD900** (рис.7.88) – універсальний інструмент для автоматичного одночасного вимірювання твердості і глибини зміцненого шару за декілька секунд.

Реальний контроль глибини зміцненого шару без руйнування дорогих деталей, підготовки поверхні (шліфування) для вимірювання твердості за Віккерсом і багаторазового визначення твердості, що практично знімає залежність від людського фактора.

Вимірювання твердості здійснюється безперервно до досягнення заданої навантаги, яка може бути вибрана із діапазону до 9000 Н.

Ці дані використовують для побудови кривої навантага-твердість, яка автоматично аналізується для визначення глибини зміцнювального шару (див. рис.7.88).

Конструкція твердоміра дає можливість вимірювати глибину зміцненого шару на необмеженій кількості деталей без використання робочих зразків твердості. Вимірюванню можна піддавати деталі складної форми, в тому числі і внутрішні поверхні діаметром від 50 мм і глибиною до 100 мм.

Глибину зміцненого шару на деталях визначають після будь-якого оброблення поверхні – цементуванням, азотуванням, ціануванням, дифузійною металізацією, ультразвуковим, магнетно-імпульсним, анодно-хімічним та іншими методами.

Основні технічні характеристики:

- випробувальна навантага – від 0,1 до 10000 Н;
- принцип роботи – електричний опір;
- відображення навантаги – на екрані в реальному часі;
- індентор – напівпровідниковий алмазний;
- пам'ять – прилад може зберігати до 4700 вимірювань;
- калібрування – за допомогою зразків твердості;
- час вимірювання – 30...60 с залежно від навантаги;
- екран розмірами 107x57 мм – рідкокристалевий з підсвічуванням.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Фомичев С.К., Старостина А.А., Скрябина Н.И. Основы управления качеством. – К.: МАУП. 2000. –196 с.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник в 2-х книгах. Под общей ред. д.т.н., проф. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1986. Том 1 – 487 с., том 2 – 351 с.
3. Бурумкулов Ф.Х., Земскова И.И. Контроль качества продукции машиностроения. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 184 с.
4. Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Контроль качества сварочных работ. – М.: Высшая школа, 1986. – 207 с.
5. Рыбкин В.А. Контроль материалов и работ в литейном производстве. – М.: Машиностроение, 1980. – 129 с.
6. Справочник по оборудованию для дефектоскопии сварочных работ / В.А. Троицкий, А.С. Боровиков, В.П. Радько и др. – К.: Техніка, 1987. – 126 с.
7. Контроль качества продукции машиностроения / Под ред. канд. техн. наук А.Э. Артеса. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 447 с.
8. Неразрушающий контроль металлов и изделий / Под ред. Г.С. Самойловича. – М.: Машиностроение, 1976. – 490 с.
9. Выборов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия. – М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.
10. Румянцев С.В. Радиационная дефектоскопия. – М.: Атомиздат, 1974. – 512 с.
11. Герасимов В.Г. Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами. – М.: Машиностроение, 1978. – 420 с.
12. Берсенев А.С. Брак литья, его предупреждение и исправление. – Л.: Машиностроение, 1969.– 79 с.
13. Жуковец И.И. Механические испытания металлов. – М.: Высшая школа, 1988. – 199 с.
14. Коваленко В.С. Металлографические реактивы. – М.: Металлургия, 1970. – 175 с.
15. ДСТУ ISO 9001-2001. Системи управління якістю. Вимоги.
16. ДСТУ 3410-96...3420-96. Державна система сертифікації УкрСЕПРО.
17. ДСТУ 19200-80 Отливки из чугуна и стали. Термины и определения дефектов.
18. ДСТУ 9012-59. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю.
19. ДСТУ 9013-59 (ИСО 6508-86). Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу.
20. ГОСТ 1497-73. Металлы. Методы испытания на растяжение.

21. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах.
22. ГОСТ 2999-75. Металлы. Метод измерения твердости алмазной пирамидкой (по Виккерсу).
23. ГОСТ 9450-76. Металлы. Метод испытаний на микротвердость вдавливанием алмазной пирамиды.
24. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінка якості. Терміни та визначення.
25. ДСТУ 2926-94. Системи якості. Комплекси керування якістю системні технологічні. Основні положення.
26. ДСТУ 3230-95. Управління якістю та забезпечення якості. Терміни та визначення.
27. ДСТУ 3514-97. Статистичні методи контролю та керування якістю. Терміни та визначення.
28. ГОСТ 1778-80. Металлографические методы определения неметаллических включений.
29. Шекеро А.Л., Посыпайло Ю.М., Троицкий Н.В. Гармонизация в Украине европейской и международной нормативной базы неразрушающего контроля. / 5-я национальная научно-техническая конференция «Неразрушающий контроль и техническая диагностика». – К.: ООО «Зеленый остров», 2006. – 436 с.
30. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник./ Под общ. Ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 655 с.

## ДОДАТОК А

### Одиниці вимірювання

Таблиця А.1. Одиниці міжнародної системи СІ

Інд. поз.	Фізична величина	Одиниця вимірювання	Позначення одиниці
1	2	3	4
<b>Основні одиниці</b>			
1	Довжина	метр	м
2	Маса	кілограм	кг
3	Час	секунда	с
4	Сила електричного струму	ампер	А
5	Термодинамічна температура	кельвін	К
6	Кількість речовини	моль	моль
7	Сила світла	кандела	кд
<b>Похідні одиниці</b>			
8	Щільність	кілограм на кубічний метр	кг/м <sup>3</sup>
9	Питома вага, питома сила	ньютон на кубічний метр	Н/м <sup>3</sup>
10	Сила, вага	ньютон	Н
11	Нормальні і дотичні напружини, тиск	пакскаль	Па
12	Енергія, робота	джоуль	Дж
13	Потужність	ват	Вт
14	Поверхневий натяг	ньютон на метр	Н/м
15	Динамічна в'язкість	паскаль-секунда	Па·с
16	Кінематична в'язкість	квадратний метр на секунду	м <sup>2</sup> /с
17	Ударна в'язкість	джоуль на квадратний метр	Дж/м <sup>2</sup>
18	Щільність електричного струму	ампер на квадратний метр	А/м <sup>2</sup>
19	Електрична напруга	вольт	В
20	Електричний опір	ом	Ом
21	Частота електричного струму	герц	Гц



## Продовження табл.А.1

22	Температурний коефіцієнт	кельвін в мінус першій степені	$K^{-1}$
23	Тепломісткість системи	джоуль на кельвін	Дж/К
24	Питома тепломісткість	джоуль на кілограм · кельвін	Дж/(кг · К)
25	Коефіцієнт теплообміну, теплопередача	ват на квадратний метр · кельвін	Вт( $m^2 \cdot K$ )
26	Теплопровідність	ват на метр · кельвін	Вт(м · К)

Таблиця А.2. Співвідношення деяких позасистемних одиниць і одиниць інших систем з одиницями СІ

Фізична величина	Одиниця вимірювання	Позначення одиниці	Співвідношення з одиницею СІ
1	2	3	4
Довжина	ангстрем	Å	0,1 нм; $10^{-4}$ мкм; $10^{-10}$ м
	мікрон	μ	1 мкм; $10^{-6}$ м
	дюйм	in	25,4 мм; $25,4 \cdot 10^{-2}$ м
Об'єм	літр	л	$10^3$ см <sup>3</sup> ; $10^{-3}$ м <sup>3</sup> ; 1 дм <sup>3</sup>
Маса	карат	кар	0,2 г; $2 \cdot 10^{-4}$ кг
	тонна	т	1000 кг
Щільність	грам на кубічний сантиметр	г/см <sup>3</sup>	0,001 кг/м <sup>3</sup>
	тонна на кубічний метр	т/м <sup>3</sup>	1000 кг/м <sup>3</sup>
Сила	дина	кг · см/с <sup>2</sup>	$10^{-5}$ Н
	стен	т · м/с <sup>2</sup>	$10^3$ Н
	грам-сила	гс	9,8 мН; $9,8 \cdot 10^{-3}$ Н
	кілограм-сила	кгс	9,8 Н
Швидкість	кілометр за годину	км/год	0,278 м/с
Тиск	бар	бар	$10^5$ Па; $10^5$ Н/м <sup>2</sup>
	фізична атмосфера	атм	$1,01 \cdot 10^5$ Па
	технічна атмосфера	ат, кгс/см <sup>2</sup>	$9,8 \cdot 10^4$ Па

	тор, міліметр ртутного стовпчика	тор, мм.рт.ст.	133,3 Па
--	----------------------------------	----------------	----------

Продовження табл.А.2

1	2	3	4
Тиск	міліметр водяного стовпчика	мм.вод.ст.	9,8 Па
Напружини	кілограм · сила на квадратний міліметр	кгс/мм <sup>2</sup>	9,8 · 10 <sup>6</sup> Па; 9,8 МПа
	кілограм · сила на квадратний сантиметр	кгс/см <sup>2</sup>	98 кПа; 0,098 МПа
Робота, енергія	єрг	єрг	10 <sup>-7</sup> Дж/(Вт · с)
	кілограм · сила на метр	кгс · м	9,8 Дж
	ват · год.	Вт · год.	3,9 · 10 <sup>3</sup> Дж
	калорія	кал	4,19 Дж
Ударна в'язкість	кілограм · сила на метр на квадратний сантиметр	кгс · м/см <sup>2</sup>	98 кДж/м <sup>2</sup>
	кілограм · сила на сантиметр на квадратний сантиметр	кгс · см/см <sup>2</sup>	980 Дж/м <sup>2</sup>
Кінематична в'язкість	стокс	Ст	10 <sup>-4</sup> м <sup>2</sup> /с
	сантисктокс	сСт	10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /с
Динамічна в'язкість	пуаз	П	0,1 Па · с
	сантипуаз	сП	1 мП · с
Теплота	калорія (між народна)	кал	4,19 Дж
Питома тепломісткість	єрг на грам · градус Цельсія	єрг/(г · °С)	10 <sup>-4</sup> Дж/(кг · К)

	калорія на грам · градус Цельсія	кал/(г · °С)	$4,19 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К)
--	--	--------------	-------------------------------

Продовження табл.А.2

1	2	3	4
Коефіцієнт теплопере- дачі	ерг в се- кунду · квад- ратний сан- тиметр · гра- дус Цельсія	ерг/(с · см <sup>2</sup> · °С)	$10^{-3}$ Вт/(м <sup>2</sup> · К)
	калорія в се- кунду · квад- ратний сан- тиметр · гра- дус Цельсія	кал/(с · см <sup>2</sup> · °С)	4,19 Вт/(см <sup>2</sup> · К)
Тепло- провідність	ерг в се- кунду квад- ратний сан- тиметр · гра- дус Цельсія	ерг/(с · см <sup>2</sup> · °С)	$10^{-5}$ Вт/(м · К)
	калорія в се- кунду · сан- тиметр · гра- дус Цельсія	кал/(с · см · °С)	$4,19 \cdot 10^2$ Вт/(м · К)

Таблиця А.3. Температурні шкали і одиниці

Шкала	Одиниця вимірювання	Позначення одиниці	Точка розтавання	Точка кипіння води
Цельсія	градус	°С	0	100
Абсолютна	кельвін	К	273,16	373,16
Реомюра	градус	°R	0	80
Фаренгейта	градус	°F	32	212

Примітка. Співвідношення між одиницями температури:  $1^\circ\text{C} = 1\text{K} = 0,8^\circ\text{R} = 1,8^\circ\text{F}$ .

Таблиця А.4. Одиниці деяких логарифмічних величин

Логарифмічна величина	Позначення одиниці	Вихідне значення величини
-----------------------	--------------------	---------------------------

Рівень звукового тиску	дБ	$2 \cdot 10^{-5}$ Па
Рівень звукової потужності	дБ	$10^{-12}$ Вт
Рівень інтенсивності звуку	дБ	$10^{-12}$ Вт/м <sup>2</sup>
Коефіцієнт затухання	дБ	–

Таблиця А.5. Одиниці, що допускаються до використання на рівні з одиницями СІ

Величина	Одиниця вимірювання	Позначення одиниці
Частота обертання	оборот за секунду оборот за хвилину	об/с об/хв.
Об'єм	літр	л
Маса	тонна, грам	т, г
Плоский кут	градус, хвилинка, секунда	...°; ...'; ..."
Час	доба, година, хвилинка	доба, год., хв..
Температура	градус Цельсія	°С

Таблиця А.6. Множники і приставки для утворення десяткових кратних і дільних одиниць та їх найменування

Множник	Приставка	Позначення	Множник	Приставка	Позначення
$10^{18}$	екса	Е	$10^{-1}$	деци	д
$10^{15}$	пета	П	$10^{-2}$	санти	с
$10^{12}$	тера	Т	$10^{-3}$	мілі	м
$10^9$	гіга	Г	$10^{-6}$	мікро	мк
$10^6$	мега	М	$10^{-9}$	нано	н
$10^3$	кіло	к	$10^{-12}$	піко	п
$10^2$	гекто	г	$10^{-15}$	фемто	ф
$10^1$	дека	да	$10^{-18}$	атто	а

## ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1. Умовне позначення основних елементів в марках металів і сплавів

Елементи	Позначення елементів в марках металів і сплавів		Елементи	Позначення елементів в марках металів і сплавів	
	чорних	кольорових		чорних	кольорових
Азот	А	–	Нікель	Н	Н
Алюміній	Ю	А	Ніобій	Б	НП
Барій	–	Бр	Олово	–	О
Берилій	Л	–	Осмій	–	Ос
Бор	Р	–	Платина	–	Рл
Ванадій	Ф	Ван	Реній	–	Ре
Вісмут	Ві	Ві	Ртуть	–	Р
Вольфрам	В	–	Самарій	–	Сам
Галій	Гл	Гл	Свинець	–	С
Гафній	–	Гф	Селен	Е	СТ
Залізо	–	З	Срібло	–	Ср
Золото	–	Зл	Сурма	–	Су
Іридій	–	І	Тантал	–	ТТ
Ітербій	–	ІГМ	Телур	–	Т
Ітрій	–	ІМ	Тербій	–	Том
Кадмій	Кд	Кд	Титан	Т	ТПД
Кобальт	К	К	Тулій	–	ТУМ
Кремній	С	Кр (К)	Вуглець	У	–
Лантан	–	Ла	Фосфор	П	Ф
Літій	–	Ле	Хром	Х	Х (Хр)
Магній	Ш	Мг	Церій	–	Се
Марганець	Г	Мц (Мр)	Цинк	–	Ц
Мідь	Д	М	Цирконій	Ц	ЦЕВ
Молібден	М	–	Ербій	–	Ерм
Неодим	–	Нм			