

Тема 6 Вихрострумовий контроль

Мета вивчення теми – ознайомлення з сутністю вихрострумового методу, технологію проведення контролю та галуззю його застосування.

План лекції:

- 6.1 Основні положення. Переваги та недоліки.
- 6.2 Вихрострумові перетворювачі: будова, різновиди та принцип роботи.
- 6.3 Технологія проведення контролю.
- 6.4 Обладнання для проведення контролю.

6.1 Основні положення. Переваги та недоліки

Вихрострумовий метод неруйнівного контролю заснований на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться в об'єкті контролю цим полем.

Сутність методу полягає у наступному. На контрольовану деталь накладається мініатюрна котушка (датчик), що живиться струмом високої частоти. Під впливом електромагнітного поля котушки у певному обсязі металу збуджуються вихрові струми, які течуть у поверхневих шарах матеріалу по кільцевих концентричних колах. Середній діаметр траєкторії вихрових струмів (пляма вихрових струмів) можна порівняти з діаметром котушки (1,0-1,6 діаметра котушки). Величина збуджуваних струмів залежить від багатьох параметрів, таких як величина та частота змінного струму, властивостей матеріалу деталі, електропровідність, магнітна проникність, форма виробу, відносне розташування котушки та виробу, а також від наявності у виробі неоднорідностей чи несплошностей. Чим більша частота збудливого струму, електропровідність та магнітна проникність матеріалу деталі, тим менша глибина, на якій можуть бути наведені вихрові струми в металі. Вихрові струми створюють у певному обсязі матеріалу вторинне електромагнітне поле. Взаємодія цих двох магнітних полів породжує зміни повного опору котушки, що створює магнітне поле та ЕРС, що наводиться в додатковій котушці, яка називається вимірювальною. Саме поле цих змінних струмів аналізується при контролі, реєструються за допомогою приладів, які дозволяють оператору отримати важливу інформацію про властивості та стан об'єкта контролю.

Напрямок вихрових струмів визначається фізичними та електричними характеристиками об'єкта контролю: вихрові струми огинають тріщини, віддаючи перевагу зонам з більш високою провідністю.

Умовний контур вихрових струмів на бездефектному зразку (рис. 6.1, а) і зразку із дефектом (рис.6.1, б) представлені на рис.6.1.

У дефектоскопії метод вихрових струмів застосовують для індикації та оцінки поверхневих та підповерхневих дефектів, а також для вимірювання товщини покриттів або шарів, визначення електричної провідності та магнітної проникності матеріалу, оцінки металургійних, механічних та інших властивостей виробу.

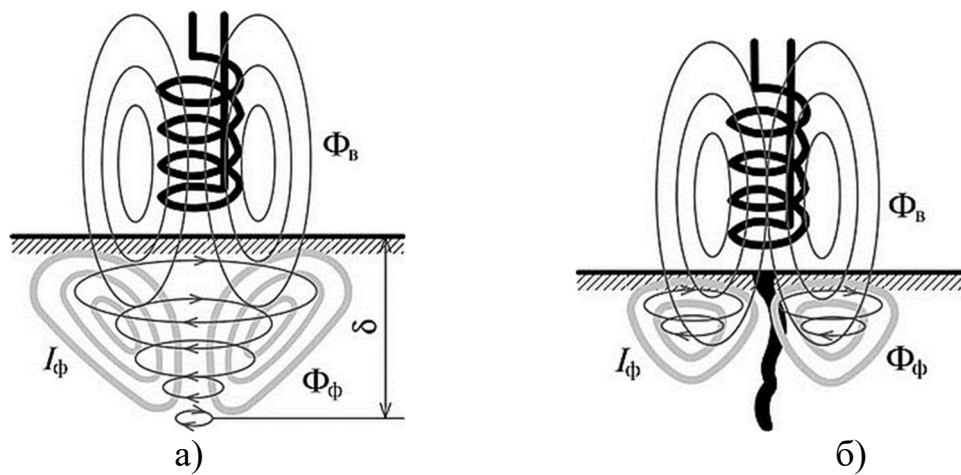


Рисунок 6.1 – Умовний контур вихрових струмів на бездефектному зразку (а) і зразку із дефектом (б)

Найбільшу щільність вихрові струми мають на поверхні металу, і в міру заглиблення в метал відбувається їхнє загасання. Цей процес називається магнітним поверхневим ефектом, для кількісної оцінки якого використовують показник глибини проникнення. Глибина проникнення – це відстань від поверхні об'єкту контролю до шару, у якому щільність вихрових струмів у e разів менше, ніж поверхні ($e=2.7183$), або як відстань, у якому вихрові струми згасають на 37%, проти поверхню.

Вихрові струми мають наступні властивості:

- траєкторія вихрових струмів спрямована паралельно до обмотки котушки;
- вихрові струми протікають шляхом найменшого опору;
- З поглибленням у провідний матеріал, амплітуда вихрових струмів зменшується, вихрові струми зсуваються по фазі щодо струмів на поверхні, сила вихрових струмів та магнітного потоку слабшає, виникає запізнення по фазі вихрових струмів.

Вихрострумий метод володіє наступними перевагами:

- висока точність та відтворюваність виявлення дефектів;
- можливість контролю об'єктів, що перебувають у русі;
- висока швидкість контролю;
- мінімальні вимоги до стану поверхні;
- можливість контролю через покриття;
- можливість контролю об'єктів із складною геометрією, місць важкого доступу;
- можливість контролю під водою;
- проведення контролю без безпосереднього контакту перетворювача з об'єктом;
- здатність розрізняти типи дефектів;
- відсутність необхідності створення контактної середовища, відсутність потреби у витратних матеріалах;
- метод не становить небезпеки для здоров'я оператора.

До недоліків методу слід віднести те, що перевірки підлягають провідники, обмеженість глибини проникнення у матеріал (до 7 мм). Дефекти, розташовані паралельно зонду, можуть залишитися непоміченими.

6.2 Вихрострумові перетворювачі: будова, різновиди та принципи роботи

Вихрострумовий перетворювач (ВСП) являє собою пристрій з однієї або декількох індуктивних котушок, які збуджують вихрові струми і перетворюють електромагнітне поле досліджуваного об'єкту в сигнал для передачі на електронний блок дефектоскопа. Перетворювач – важливий атрибут, без якого неможливе проведення вихрострумового контролю. Робоча поверхня перетворювача підлягає щоденному огляду з допомогою лупи з діапазоном збільшення від 2 до 6 крат. При найменших механічних пошкодженнях датчик відбраковується. При зміні датчику дефектоскоп піддають додатковій перевірці.

Конструкції ВСП визначаються їх призначенням, умовами застосування, діапазоном частот струму збудження та іншими факторами. Тому вони дуже різноманітні. Розміри котушок коливаються від кількох міліметрів до 500 мм.

Основні вимоги до котушок - міцність, зносостійкість, захищеність від зовнішніх впливів, можливість доступу до зони контролю, зручність експлуатації, ергономічність та відповідність вимогам технічної естетики, взаємозамінність, контроле- та ремонтпридатність, надійність.

Простота конструкції перетворювача – ще одна перевага вихрострумового методу. Найчастіше котушки поміщають запобіжний корпус і заливають компаундами. завдяки цьому вони стійкі до механічних та атмосферних впливів, можуть працювати в агресивних середовищах у широкому інтервалі температур та тисків. Конструкція перетворювача зазвичай містить такі складові: одну або кілька котушок; корпус для розміщення котушок; засоби стабілізації положення котушок щодо об'єкту контролю; засоби для розміщення ВСП у заданому положенні щодо об'єкту контролю; у процесі контролю; роз'єми, кабелі.

Вихрострумові перетворювачі за способом вимірювання електромагнітних полів класифікуються на параметричні та трансформаторні. У параметричних датчиках лише одна обмотка, яка виконує функції збудження та вимірювання одночасно. При цьому дані контролю одержують, вимірюючи комплексний опір ВСП (рис. 6.2). У трансформаторних перетворювачах не менше 2 обмоток, одна з яких генератор, інша використовується для вимірювання параметрів ("вимірювальна обмотка", рис. 6.3).

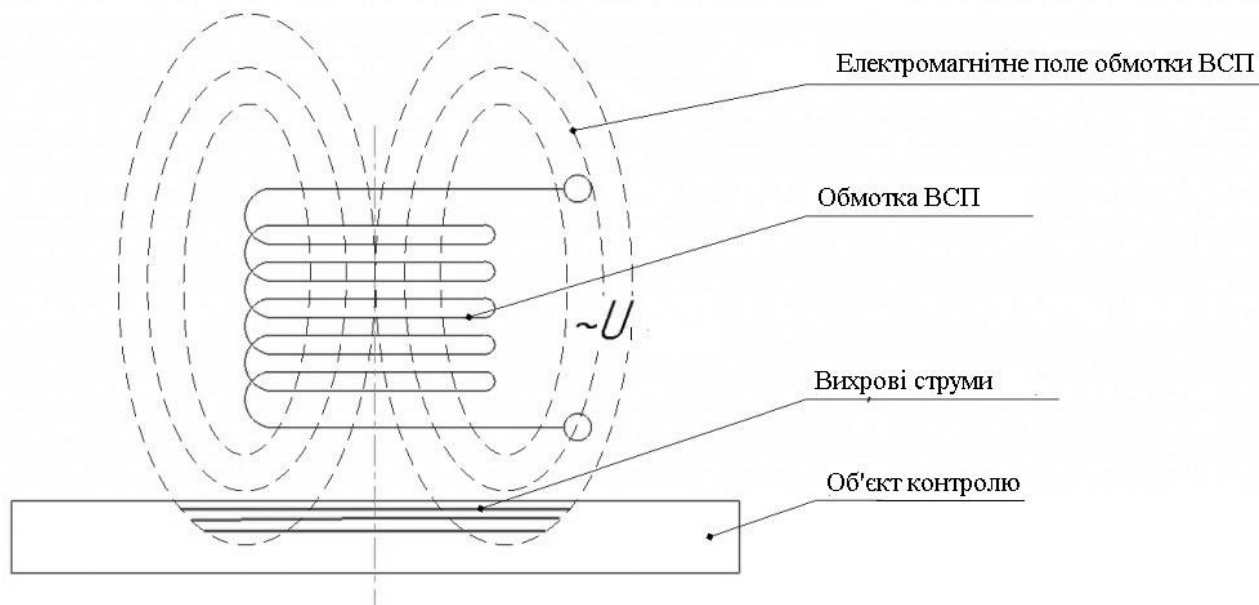


Рисунок 6.2 - Параметричні ВСП

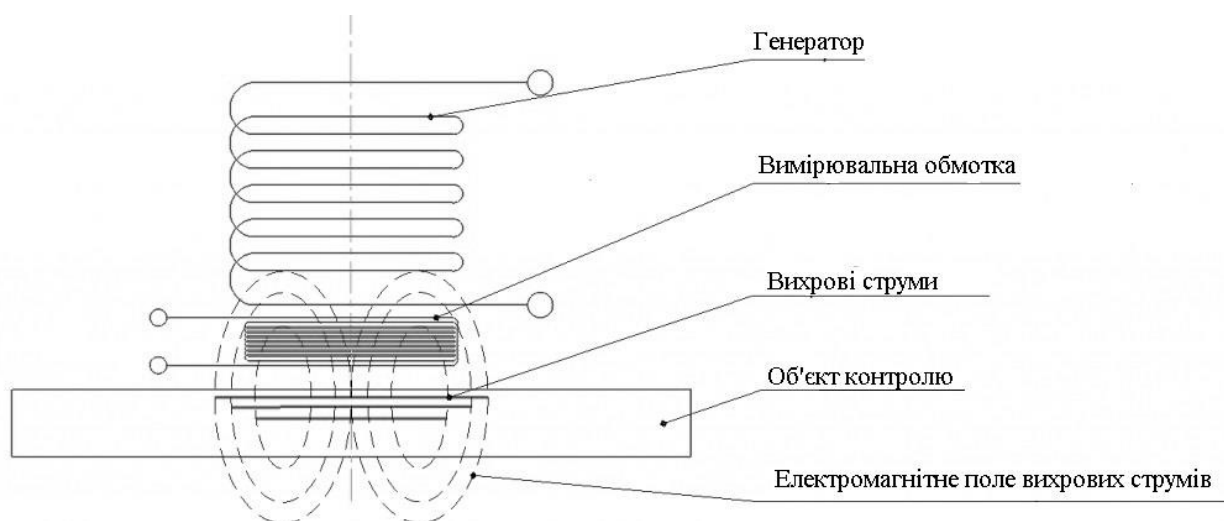
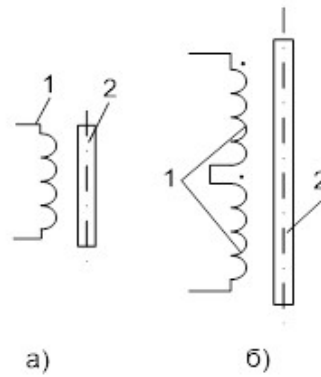


Рисунок 6.3 – Трансформаторні ВСП

Перевага параметричних ВСП полягає в їх простоті, а недолік – залежність від вихідного сигналу від температури перетворювача

Залежно від способу з'єднання обмоток, ВСП поділяються на абсолютні та диференціальні. В абсолютних ВСП вихідний сигнал – це абсолютне значення параметрів об'єкта контролю (рис.6.4,а). Диференціальними ВСП прийнято називати перетворювачі, які мають не менше 2-х вимірювальних обмоток, включених зустрічно (рис. 6.4, б). Це дозволяє вимірювати різницю показань вимірювальних обмоток.



1 – збуджувальна обмотка, 2 – об’єкт контролю

Рисунок 6.4 – Абсолютні (а) та диференційні (б) ВСП

По взаємному розташування об’єкта контролю та перетворювача розрізняють накладні, прохідні та комбіновані ВСП.

Накладні ВСП зазвичай складаються з однієї або декількох котушок, до торців яких підводиться поверхня об’єкта. Котушки таких перетворювачів можуть бути круглими коаксіальними, прямокутними, прямокутними хрестоподібними, із взаємно перпендикулярними осями та ін.

Накладні перетворювачі виконують з феромагнітними сердечниками або без них. Завдяки феромагнітному сердечнику (зазвичай феритовому) дещо підвищується абсолютна чутливість перетворювача та зменшується зона контролю за рахунок локалізації магнітного потоку (рис.6.5).

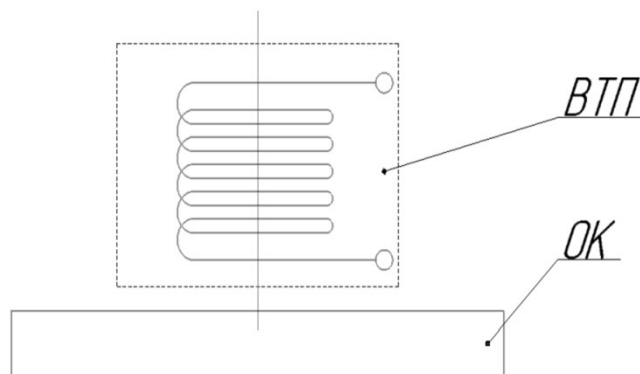
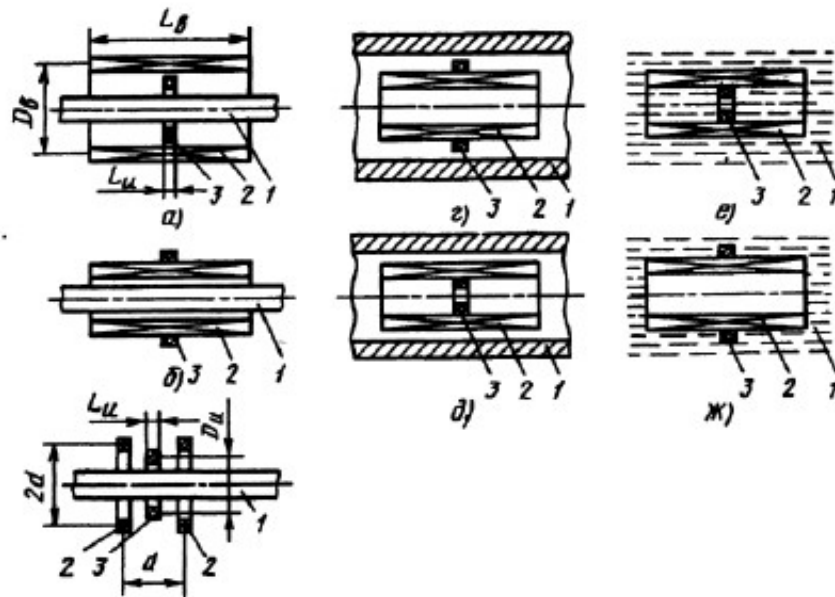


Рисунок 6.5 – Накладні ВСП

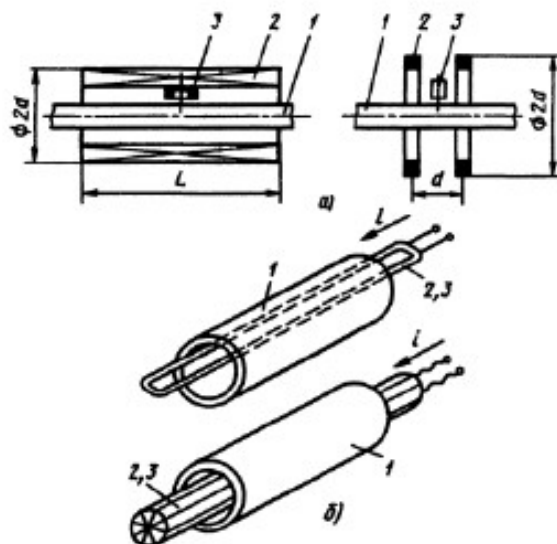
Прохідні ВСП поділяють на зовнішні, внутрішні, занурювальні. Відмінна риса прохідних ВСП в тому, що в процесі контролю вони проходять або зовні об’єкта, охоплюючи його (зовнішні, рис. 6.6 а-в), або всередині об’єкта (внутрішні, рис. 6.6 г, д), або занурюються в рідкий об’єкт (занурювальні, рис.6.6, е, ж). Зазвичай прохідні ВТП мають однорідне магнітне поле у зоні контролю, у результаті радіальні зміщення однорідного об’єкта контролю впливають вихідний сигнал перетворювача. Для цього довжина L збуджувальної обмотки повинна не менше ніж у 3-4 рази перевищувати її діаметр D , а довжина L_u вимірювальної обмотки, розміщеної в середині збуджувальної обмотки, повинна бути значно меншою за довжину останньої. Однорідне поле отримують

також, застосовуючи збуджувальну обмотку, виконану у вигляді кільця Гельмгольца, а вимірювальну – у вигляді короткої котушки.



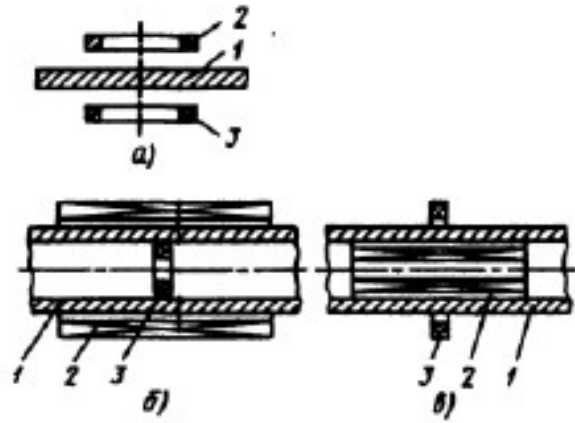
1 – об'єкт контролю, 2 – збуджувальна обмотка, 3 – вимірювальна обмотка
Рисунок 6.6 – Прхідні ВСП

Комбіновані перетворювачі є комбінацією накладних і прохідних ВСП. На рис. 6.7 а показані деякі різновиди комбінованих ВТП. До них відносяться також ВТП у вигляді лінійно-протяжних витків або рамок, які можна умовно назвати лінійними (рис. 6.7, б).



1 – об'єкт контролю, 2 – збуджувальна обмотка, 3 – вимірювальна обмотка
Рисунок 6.7 – Комбіновані ВСП

Особливим різновидом є екранні ВСП, що відрізняються тим, що їх збуджувальні та вимірювальні обмотки розділені контрольованим об'єктом. Розрізняють накладні екранні ВТП (рис. 6.8, а) та прохідні екранні ВТП - відповідно перетворювачі першого та другого типів (рис. 6.8, б, в).



1 – об'єкт контролю, 2– збуджувальна обмотка, 3 – вимірювальна обмотка
Рисунок 6.8 – Екранні ВСП

Накладними ВСП контролюють здебільшого об'єкти з плоскими поверхнями та об'єкти складної форми. Ці перетворювачі застосовують також, коли потрібно забезпечити локальність та високу чутливість контролю. Зовнішніми прохідними ВСП контролюють лінійно протягнуті об'єкти (дрот, прутки, труби тощо); застосовують їх і за масового контролю дрібних виробів. Внутрішні прохідні ВСП контролюють внутрішні поверхні труб, а також стінки отворів у різних деталях. Прокідні ВСП вони мають меншу чутливість до локальних варіацій його властивостей.

Занурювальні ВСП застосовують для контролю рідких середовищ, екранні накладні – для контролю листів, фольги, тонких плівок, а екранні прохідні – для контролю труб.

6.3 Технологія проведення контролю

Перед початком контролю необхідно візуально переконатись у відсутності тріщин та інших механічних пошкоджень на контрольованій поверхні. Конструкції та деталі, що мають тріщини, виявлені візуально, бракують. Механічні задираки в зоні контролю видаляють.

При налаштуванні дефектоскопа та перевірці впливу на чутливість контролю нахилу перетворювача, не слід допускати притиску перетворювача до контрольного зразка та контрольованої поверхні з зусиллям, що значно перевищує вагу перетворювача.

Вісь перетворювача при налаштуванні та проведенні контролю, у тому числі при його переміщенні по контрольованій поверхні, має бути перпендикулярна поверхні.

Контроль здійснюють послідовним скануванням контрольованої поверхні перетворювачем.

Сканування здійснюють перпендикулярно до напрямку очікуваного розвитку дефекту. Тільки у разі неможливості такого сканування допускається проведення контролю скануванням під кутом до напрямку передбачуваного дефекту. Крок сканування вибирають з урахуванням необхідної чутливості та напрямку сканування. За невідомої орієнтації можливих дефектів для досягнення

максимальної чутливості зону контролю необхідно сканувати у двох взаємно перпендикулярних напрямках з кроком сканування не більше 2 мм. При впливі факторів, що заважають, крок сканування вибирають мінімально можливим.

Швидкість контролю визначається технічними характеристиками дефектоскопа. Швидкість контролю за допомогою стрілочної індикації обмежується значенням 5 мм/с. Швидкість контролю з використанням світлової безінерційної (світлодіодної) сигналізації за відсутності засвітки від зовнішнього освітлення та розташування індикатора в полі зору оператора може досягати 10-20 мм/с. Така сама швидкість може бути обрана і для дефектоскопів зі звуковою сигналізацією в умовах низького шуму. Для дефектоскопів із запам'ятовує сигналізацією швидкість контролю не обмежується і повністю визначається їх технічними характеристиками.

При контролі слід провести розмітку контрольованої поверхні на зони контролю з урахуванням конфігурації об'єкта контролю або окремої контрольованої ділянки. Для зручності роботи оператора площа зони контролю має перевищувати 1-2 дм².

Контроль кожної зони слід починати з налаштування (компенсації) дефектоскопа під час встановлення перетворювача на бездефектному ділянці у цій зоні контролю. Перевірку правильності вибору бездефектної ділянки проводять таким чином:

- встановлюють перетворювач у зоні контролю та проводять налаштування дефектоскопа;
- переміщують перетворювач на кілька міліметрів у різних напрямках усередині зони контролю.

Відсутність сигналізації про дефект свідчить про відсутність дефектів у місці налаштування.

6.4 Обладнання для проведення контролю

Обладнання, призначене для проведення вихрострумового контролю в залежності від різновиду напряму контролю можна поділити на три групи:

- вихрострумові дефектоскопи (вихрострумова дефектоскопія);
- вихрострумові товщиноміри (вихрострумова товщинометрія);
- вихрострумові структуроскопи (вихрострумова структуроскопія, феритометрія).

Вихрострумовий дефектоскоп – прилад, заснований на методах вихрострумового неруйнівного контролю і призначений для виявлення дефектів об'єкта контролю типу порушеної суцільності.

Сучасний вихрострумовий дефектоскоп є компактним приладом з автономним живленням, оснащений екраном, клавіатурою і датчиками з можливістю виведення необхідних параметрів на різні пристрої, включаючи персональний комп'ютер, принтер, що запам'ятовує пристрій. Сучасні багатофункціональні вихрові дефектоскопи здатні як аналізувати контрольовані ділянки, а й обробляти інформацію з наданням розгорнутого технічного звіту, як і лабораторних, і у польових умовах.

Дефектоскопи можна класифікувати за такими ознаками:

– по вигляду об'єкту контролю розрізняють дефектоскопи контролю об'єктів з плоскими поверхнями і складної форми; лінійно-протяжні об'єкти, дрібні деталі масового виробництва;

– за режимом роботи: дефектоскопи для роботи у статичному та динамічному режимах та універсальні;

– за типом застосовуваних ВСП бувають: дефектоскопи з прохідними та накладними ВСП, а також універсальні дефектоскопи;

– за конструктивним виконанням: стаціонарні, переносні, портативні.

Головними параметрами дефектоскопа:

– поріг чутливості визначає мінімальні розміри дефекту заданої форми;

– роздільна здатність – мінімальна відстань між двома дефектами;

– максимально допустиме зменшення вихідного сигналу дефектоскопа зі збільшенням відстань між торцем ВСП і поверхнею деталі;

– мінімальна відстань (мм) між ВСП та краєм деталі, при якому зміна вихідного сигналу перетворювача не перевищує заданого значення;

– максимальна продуктивність контролю.

Вихрострумний товщиномір - прилад, заснований на методах вихрострумного неруйнівного контролю та призначений для вимірювання товщини об'єкта контролю.

В залежності від призначення та характеристик об'єкту контролю товщиноміри підрозділяються на товщиноміри для ізоляційних покриттів на електропровідних основах (лакофарбові покриття, емалеві, пластикові, гумові покриття та металах та сплавах), електропровідних покриттів на ізоляційних основах (стілки труб, фольги, листів) та електропровідні покриття на електропровідних основах (антикорозійні шари на алюмінієвих сплавах).

Зазвичай вихрострумні товщиноміри застосовуються для вимірювання товщини неметалічних покриттів на основі кольорових металів. Основи із чорних металів мають ненормований опір, в результаті на таких основах з'являється дуже велика похибка вимірювання та застосування вихрострумних товщиномірів стає неможливим.

Максимальні вимірювані товщини досягають немагнітні сплави 15 мм - магнітні сталі 5 мм.

Вихрострумний структуроскоп – прилад, заснований на методах вихрострумного неруйнівного контролю та призначений для контролю фізико-механічних властивостей об'єктів, пов'язаних зі структурою, хімічним складом та внутрішнім напруженням їх матеріалів.

Вихрострумна структуроскопія виробів заснована на вимірі та оцінці змін питомої електричної провідності. Структуроскопи ще називають вимірниками електричної провідності.

Питома електрична провідність визначається температурою та відносною концентрацією вихідних матеріалів. Вихрострумні структуроскопи дозволяють оцінити:

– хімічний склад електропровідних матеріалів;

– сортування матеріалів (виробів);

– виявляти неоднорідні зони в матеріалі, зони втоми;

– оцінювати глибину та якості обробок різного виду (механічна, термічна);

– контролювати якість поверхневих шарів.

Для сортування виробів за допомогою структуроскопів необхідно провести попереднє дослідження на об'єктах, контрольованих з подальшим порівнянням результатів іншими методами неруйнівного контролю.

Питання для самоперевірки

1. На яких засадах базується вихрострумний контроль?
2. Які матеріали можуть підлягати контролю цим методом?
3. Галузь застосування методу.
4. Переваги та недоліки вихрострумного методу контролю.
5. З яких основних елементів складається вихрострумний перетворювач?
6. Які види перетворювачів розрізняють в залежності від орієнтації перетворювача до поверхні контролю?
7. Які види перетворювачів розрізняють в залежності за способом вимірювання електромагнітних полів?
8. Які види перетворювачів розрізняють в залежності за способом з'єднання обмоток?
9. Які основні етапи проведення контролю?
10. Що таке вихрострумний дефектоскоп?
11. Принцип дії вихрострумного товщиноміра.
12. Які параметри фіксує вихрострумний товщиномір.