

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

ГЮОК

(позначення документа)

НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ МІКРОСКОПІЧНИХ ВНУТРІШНІХ ДЕФЕКТІВ
МЕТАЛЕВИХ ПРОКАТНИХ КОНСТРУКЦІЙ

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи МНПм-19-1

Ляшенко І.С.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 153

«Мікро- та наносистемна техніка»

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма 6.050801

Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. каф. МЕПП Пащенко О.Г.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженеріїКафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроївРівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 153 – «Мікро- та наносистемна техніка»

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Мікро- та наноелектронні прилади та пристрої

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Ляшенко Івану Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Неруйнівний контроль мікроскопічних внутрішніх дефектів металевих прокатних конструкційзатверджена наказом по університету від 27 жовтня 2020 р. № _____2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 14 грудня 2020 р.3. Вихідні дані до роботи Аналіз основних методів неруйнівного контролю, розробити модель датчика, металева стрічка з дефектами

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1. Огляд основних методів неруйнівного контролю та їх класифікація2. Проведення дослідження характеристик магнітів3. Складання концепції дії електромагнітного датчика4. Розробка конструкції датчика5. Розробка конструкторської документації6. Економічне обґрунтування

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

Збірне креслення блоку електромагнітних перетворювачів – 1 шт.

Корпус – А4 – 1 шт.

Кришка корпусу – А4 – 1 шт.

Чутливий елемент – А4 – 1 шт.

Металева накладка – А4 – 1 шт.

Демонстраційний матеріал – 15 шт.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
	Інформаційно-тематичний пошук та огляд літературних джерел про неруйнівний контроль металевих виробів	02.11.20 — 11.11.20	Виконано
2	Експериментальне дослідження характеристик феромагнетиків	11.11.20 — 14.11.20	Виконано
3	Розробка концепції датчика	15.11.20 — 21.11.20	Виконано
4	Розробка графічної частини роботи	22.11.20 — 25.11.20	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	25.11.20 — 01.12.20	Виконано
6	Оформлення графічної та демонстраційної частин	01.12.20 — 05.12.20	Виконано
7	Проходження нормоконтролю та отримання рецензії на роботу	05.12.20 — 13.12.20	Виконано
8	Підготовка та захист атестаційної роботи	13.12.20 — 15.12.20	

Дата видачі завдання 2 листопада 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи: 45 с., 20 рис., 7 додатки, 33 джерела.

БЛОК ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ,
ВИХРОСТРУМОВА ДЕФЕКТОСКОПІЯ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ДАТЧИК,
КОНТРОЛЬ, ЛИСТОВИЙ ПРОКАТ, МАГНІТНЕ ПОЛЕ, СТРІЧКА,
УСТАНОВКА КОНТРОЛЮ, ЧУТЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ.

Об'єктом дослідження — електромагнітний перетворювач

Мета роботи — удосконалення сенсора для детектування дефектів металовиробів листового прокату.

В результаті даного дипломного проекту були розглянуті методи контролю металеві стрічки та класифікація вихрострумів перетворювачів

Розглянуто теоретичні питання індукційних перетворювачів. Розроблено установку контролю рухомої металеві стрічки. Розроблено конструкторську документацію для блоку електромагнітних перетворювачів. Спроектвані трьохвимірні моделі блоку електромагнітних перетворювачів. Розглянуто принцип дії електромагнітного перетворювача. В даній дослідницькій роботі розглянуті розділи з охорони праці та економічного обґрунтування.

ABSTRACT

Explanatory note of certification work: 63 p., 20 fig., 7 appendices, 36 sources.

CONTROLLER, EXTREME DEFECTOSCOPY, ELECTRIC MAGNETIC CONVERTERS, ELECTROMAGNETIC SENSOR, FASTENER, MAGNETIC FIELD, METAL TAPE, INSTALLATION OF CONTROL, SENSITIVE ELEMENT.

An object of research is an electromagnetic transducer.

Purpose of work — Improvement of sensors for detecting defects of metal and products of sheet metal.

As a result of this diploma project, the methods of control of the metal tape and the classification of eddy current converters were considered.

The theoretical questions of induction transducers are considered. The installation of control of moving metal tape has been developed. The design documentation for the block of electromagnetic converters has been developed. Designed three-dimensional models of the block of electromagnetic converters. The principle of an electromagnetic converter is considered. In this research work sections on labor protection and economic substantiation are considered.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО (НЕРУЙНІВНОГО) КОНТРОЛЮ	10
1.1 Магнітопорошковий метод	10
1.2 Магнітографічний метод.....	12
1.3 Метод магнітодіодів.....	13
1.4 Індукційний метод	15
1.5 Метод магніотранзисторів.....	16
1.6 Метод ферозонда.....	17
1.7 Класифікація вихрострумівих перетворювачів	17
1.8 Висновки до розділу 1	25
2 РОЗРОБКА ДАТЧИКА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ.....	26
2.1 Теорія роботи індукційних перетворювачів.....	26
2.2 Класифікація дефектів прокату.....	29
2.3 Установа контролю металевої стрічки	32
2.4 Принцип дії електромагнітного датчика.....	34
2.5 Експериментальні дослідження характеристик ферозондового датчика..	35
2.5.1 Загальні властивості ФЗД з будь-якою формою сердечника.....	36
2.5.2 Висновки щодо впливу на ДН ФЗД положення котушки возбужденя на осерді.	38
2.5.3 Висновки по залежності ДН датчиків від геометричних розмірів сердечника.....	38
2.5.4 Висновок.....	38
2.6 Конструкція перетворювача.....	39
2.7 Висновки до розділу 2.....	41
ВИСНОВКИ	42
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	43
ДОДАТОК А	46
ДОДАТОК Б.....	47
ДОДАТОК В.....	48

ДОДАТОК Г.....	49
ДОДАТОК Д.....	50
ДОДАТОК Е.....	51
ДОДАТОК Є.....	52

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку виробництва, постійно зростаючі вимоги до надійності та безпеки експлуатації складних та коштовних інженерних споруд та технічних систем вимагають проведення 100% контролю якості продукції. Це звичайно призводить до підвищення вартості продукції. Але «економія» на контролі якості продукції може мати фатальні наслідки, призвести до великих аварій та екологічних катастроф, збитки від яких не піддаються обрахуванню. Тому провідні держави світу витрачають значні кошти на контроль якості промислової продукції – в середньому 1..3% від вартості продукції, і до 12..18% в таких галузях як атомна енергетика, літакобудування та ракетобудування. Загальновідомо, що для контролю якості продукції найбільш ефективним є застосування неруйнівного контролю.

Існує досить широкий спектр методів виявлення дефектів металопродукції. Найпоширенішими серед них є: ультразвуковий, магнітопорошковий, капілярний, вихрострумний та інші. Але кожний з них має свої плюси та мінуси в самій цій галузі металообробки. Ультразвуковим методом доволі складно контролювати рухомі об'єкти, такі як листові металопродукти, рух буде впливати на чутливість та достовірність показань. Магнітопорошковий метод виявлення дефектів досить точний, але він статичний та потребує багато часу та наявності людського фактору. Капілярний метод гарно проявляє себе у виявленні поверхневих та під поверхневих дефектів (тріщин) але реалізувати його на рухомому конвеєрі це дуже складна та матеріально затратна робота. Саме про вихрострумний метод дефектоскопії листового прокату піде річ у цій НДР.

Вихрострумний або магнітний контроль досить складний але компенсується своєю точністю, чутливістю та можливістю легко реалізувати його на рухомому конвеєрі. Також є змога зробити його автоматичним, без втручання людини. Тобто показання датчиків, розташованих на конвеєрній

лінії, одразу приходять на комп'ютер, де оператор робить аналіз показань та дає висновок щодо якості продукції.

Метою даної роботи є удосконалення сенсорів для детектування дефектів металовиробів листового прокату. Для досягнення мети поставлено та вирішено наступні задачі: розробка датчика, розробка конструкції блоку перетворювачів, складання концепції контролю металевої стрічки та принципу дії електромагнітного датчика.

1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО (НЕРУЙНІВНОГО) КОНТРОЛЮ

Сьогодні під неруйнівним контролем (НК, від англ. Non-destructive testing (NDT)) найчастіше розуміють аналіз надійності та інших властивостей і основних робочих характеристик всього об'єкта або окремих його елементів (ділянок), не пов'язаний з виведенням цього об'єкта з роботи або його демонтажем. Іншими словами, мова йде про перевірку виробу без будь-якого його руйнування (англ. Nondestructive inspection (NDI)).

І як раз в цьому його головна відмінність від контролю руйнівного типу. Простий приклад. Для оцінки міцності об'єкта на розрив в будь-якому випадку необхідно додаток навантаження, після якої об'єкт вже не буде придатний до експлуатації (до таких методів можуть бути віднесені краш-тести автомобілів).

Що ж стосується основних методів неруйнівного контролю, то ними є такі методи як:

- магнітопорошковий метод;
- магнітографічний метод;
- метод магнітодіодів;
- індукційний метод;
- метод магнітотранзисторів;
- метод ферозонда;

1.1 Магнітопорошковий метод

Одним із найбільше поширених методів магнітної дефектоскопії є магнітопорошковий метод, що полягає у використанні магнітного порошку для виявлення магнітного поля дефекту. Цим методом контролюються до 70 % усієї

продукції, що піддається перевірці на наявність поверхневих і під поверхневих дефектів. Він одержав широке поширення завдяки:

- високій чутливості;
- підвищеній продуктивності;
- простоті технології.

Фізична сутність методу полягає в тому, що магнітні частинки порошку в полі дефекту намагнічуються і під дією пондеромоторної сили (сили механічної взаємодії) переміщуються в зону найбільшої неоднорідності магнітного поля. Цьому руху протидіють сили тертя, тому переміщення частинок відбувається під дією результуючих складових названих сил.

Якщо розглядати порошки як ізольовані магнітні частинки і помістити їх у неоднорідне магнітне поле, то пондеромоторна сила визначатиметься як

$$F_x = xVH_i \frac{dB}{dx}, \quad (1.1)$$

де dB – складова градієнту магнітної індукції поля дефекту за координатою x ,

H_i – напруженість поля всередині частинки,

x – магнітна сприйнятливості матеріалу порошку.

Отже пондеромоторна сила F пропорційна напруженості магнітного поля частинки і її градієнту. Вона зростає зі збільшенням об'єму частинки, причому він не повинний перевищувати величину, при якій ще можна вважати $H \frac{dB}{dx} = \text{const}$. Оскільки частинки мають дуже малі розміри, їх розмагнічувальний фактор N також дуже малий. Тому $H' \ll H_0$ і можна вважати, що напруженості поля усередині частинок H_i дорівнює напруженості зовнішнього поля H_0 .

Частинки, притягуючись одна до одної, вибудовуються у ланцюжки. Ці ланцюжки орієнтуються вздовж магнітних силових ліній поля (аналогічно магнітній стрілці компаса) і, накопичуючись, утворюють характерні малюнки у виді валиків (скупчень), за якими приймають рішення про наявність чи

відсутність дефекту. Топографія поля дефекту однозначно визначає особливості характеру розподілу магнітних частинок.

1.2 Магнітографічний метод

Цей метод контролю запропоновано у 1952 р. радянськими вченими С. Маховером та Ю. Усенко. Він полягає у записі на магнітну стрічку або плівку магнітного рельєфу ОК та їх дефектів. В даний час в дефектоскопії використовуються два типи магнітоносіїв:

- Магнітні стрічки, що складаються з немагнітної еластичної основи, на якій нанесений тонкий прошарок (25..40 мкм) магнітного порошку з закріплювачем.
- Монолітні магнітоносії, що складаються з монолітної немагнітної основи (поліамідні смоли, різноманітні типи гум), у які магнітний порошок уводиться як наповнювач.

Магнітні стрічки характеризуються нерухомим закріпленням магнітного порошку, тому ефект взаємодії індикатора з магнітним полем полягає в локальному намагнічуванні ділянок стрічки, що знаходяться в полі розсіювання дефекту. Запис полів дефектів на магнітній стрічці відтворюється за допомогою магнітографічних дефектоскопів. Чутливість методу залежить від магнітних характеристик стрічки, контрасту запису і чутливості апаратури відтворення. Контрастність зображення залежить від попереднього магнітного стану стрічки. Перед проведенням запису стрічка повинна бути ретельно розмагнічена.

Значний практичний інтерес викликають монолітні магнітоносії, що в пастоподібному стані наносять на поверхню. Магнітний порошок за рахунок відносної рухливості (це принципово відрізняє їх від стрічок і наближає до магнітопорошкового методу) накопичується в зоні поля розсіювання дефекту.

Після затвердіння носії знімають з поверхні і по розподілу порошку в ньому судять про наявність дефектів. Дефектограма може розглядатись під мікроскопом.

Переваги магнітографічного методу:

- висока чутливість (вдається виявити дефекти довжиною менше 0,05 мкм);
- можливість проведення контролю у важкодоступних місцях (в отворах та їх околах);
- висока рентабельність.

1.3 Метод магніодіодів

Магніодіоди – це напівпровідникові діоди, в яких використовується явище зміни вольтамперної характеристики під дією зовнішнього магнітного поля. Завдяки малим розмірам, високій чутливості і задовільній повторювальності вольтамперних характеристик останнім часом ці прилади все частіше використовують в магнітній дефектоскопії, і особливо, у магнітній інтроскопії.

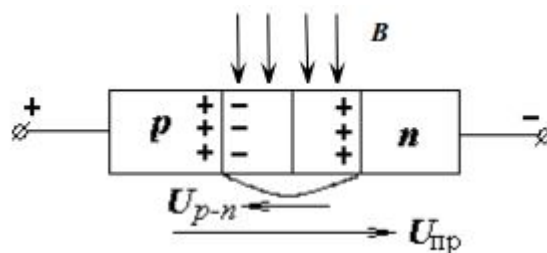


Рисунок 1.1 – Розподіл прикладеної до магніодіоду електричної напруги

В магніодіодах (рис. 1.1) пряма напруга $U_{пр}$, прикладена до діода, розподіляється між p-n переходом (U_{p-n}) і опором бази діода R_b (база – це область напівпровідникового приладу, в якій відбувається інжекція неосновних носіїв заряду)

$$U_{np}(B) = U_{p-n}(B) + I_{np}R_{\sigma}(B), \quad (1.2)$$

Опір бази діода збільшується в поперечному магнітному полі через зменшення рухливості основних і неосновних носіїв заряду. Збільшення опору бази може бути пов'язано також із зменшенням часу життя неосновних носіїв заряду, якщо через викривлення траєкторії їх руху вони будуть швидше досягати поверхні базової області, де спостерігається велика швидкість їх рекомбінації. Внаслідок збільшення R_{σ} значення U_{np} перерозподіляється в напрямку зменшення долі U_{p-n} .

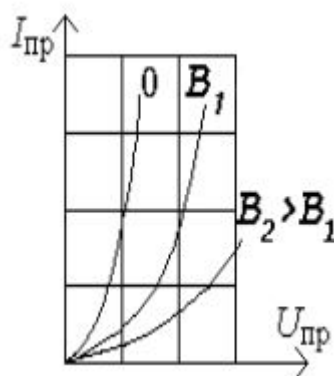


Рисунок 1.2 – Вольтамперна характеристика германієвого магнітодіода

Зазвичай магнітодіоди виготовляються з товщиною бази, що відповідає декільком дифузійним довжинам неосновних носіїв зарядів, тобто товщиною в декілька міліметрів. Основна вимога до матеріалу бази магнітодіодів – висока рухливість носіїв заряду.

Для оцінки чутливості користуються поняттям питомої чутливості

$$\gamma = \frac{1}{I_{np}} \times \frac{\Delta U}{\Delta B}, \quad (1.3)$$

де ΔU - зміна напруги на магнітодіоді при внесенні його в магнітне поле.

Питома чутливість магнітодіодів вище, ніж у перетворювачів Холла і ферозондів. Приклад магнітодіоду – кремнієвий магнітодіод типу КД304Ж з розмірами 2×1 мм і 5×1 мм та внутрішнім опором $R_0(B=0)=2400$ Ом.

1.4 Індукційний метод

Індукційний метод базується на використанні закону електромагнітної індукції, який полягає у наведенні електрорушійної сили (е.р.с.) в електричній котушці при її розташуванні в змінному магнітному полі (рис. 1.3). Вхідною величиною індукційного перетворювача може бути магнітний потік Φ , який має з котушкою потокозчеплення

$$\Psi = W\Phi = WBS_{cp} \cos\alpha = W\mu HS_{cp} \cos\alpha, \quad (1.4)$$

де α – кут між віссю котушки та напрямком дії векторів Φ , B , H , W – кількість витків котушки;

S_{cp} – середня площа котушки (для круглої котушки $S_{cp}=0,25 \pi D_{cp}^2$, D_{cp} – середній діаметр котушки).

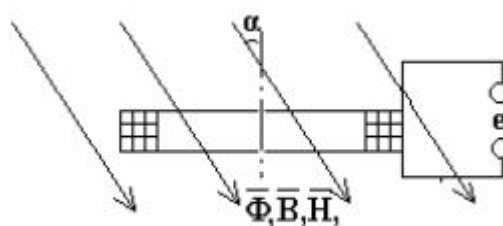


Рисунок. 1.3 – Розташування котушки індуктивності у магнітному полі

Вихідною величиною індукційного перетворювача є наведена в ній е.р.с. В однорідному магнітному полі та за умови $\mu = const$ е.р.с.

$$e(t) = -\frac{d\Psi}{dt} = -W \frac{d\Phi}{dt} = -W \frac{d}{dt} (BS_{cp} \cos \alpha) = -W\mu \frac{d}{dt} (HS_{cp} \cos \alpha). \quad (1.5)$$

Отже крім магнітного потоку як вхідні величини можуть розглядатись магнітна індукція або напруженість магнітного поля.

1.5 Метод магніотранзисторів

Магніотранзистори — це транзистори, в яких використовується залежність характеристик і параметрів від зовнішнього магнітного поля.

Звичайні біполярні транзистори малочутливі до магнітного поля, оскільки поперечне магнітне поле призводить тільки до викривлення траєкторії руху неосновних носіїв заряду, що проходять через базу від емітера до колектора. У зв'язку з невеликою товщиною бази в звичайних біполярних транзисторах практично всі інжектованні емітером носії досягають колектора, незважаючи на викривлення траєкторії руху при $B \neq 0$.

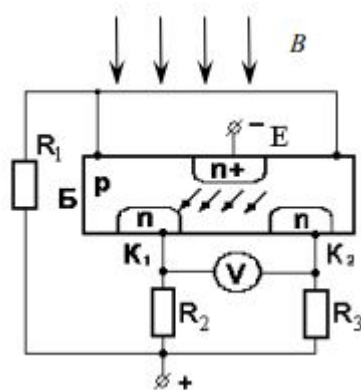


Рисунок 1.4 – Мостова схема включення магніотранзисторів

Для підвищення чутливості до B роблять два колекторних переходи. В цьому випадку магнітне поле відхиляє носії заряду від одного колектора до іншого. Основною схемою включення магніотранзисторів є мостова схема рис. 1.4.

Для слабких полів магніторезистори можуть забезпечити чутливість на декілька порядків більше, ніж чутливість перетворювачів Холла.

1.6 Метод ферозонда

Ферозонди – це магніточутливі магнітомодуляційні перетворювачі, в яких реалізується процес взаємодії двох полів – зовнішнього (постійного вимірюваного) з напруженістю H_x і власного змінного поля збудження напруженістю H_{\sim} .

Принцип дії ферозондів ґрунтується на явищі зміни магнітного стану феромагнетика, намагнічуваного змінним магнітним полем збудження. Існує декілька різновидів ферозондів, які відрізняються:

- способом збудження (диференціальний і недиференціальний);
- просторовою орієнтацією магнітних полів – ферозонди з повздовжнім і поперечним збудженням;
- формою феромагнітного осердя (стержневі, кільцеві, трубчасті).

1.7 Класифікація вихрострумівих перетворювачів

Розроблено проект розширеної загальної класифікації конструкцій вихрострумівих перетворювачів. В цій класифікації вперше зустрічаються багатоелементні вихроструміві перетворювачі, які реалізують технологію електронного або комбінованого сканування поверхні об'єкта контролю, а також вихроструміві перетворювачі дальнього поля. Подано приклади побудови конструкцій вихрострумівих перетворювачів, зокрема багатоелементних вихрострумівих перетворювачів і вихрострумівих перетворювачів дальнього поля.

Конструкція і характеристики вихрострумівих перетворювачів (ВСП) мають вирішальне значення для забезпечення ефективного вихрострумівого

контролю, тому обґрунтування оптимального вибору ВСП є чи найважливішим етапом під час розробки нових засобів і технологій вихрострумове контролю.

В попередніх роботах була запропонована розширена класифікація накладних ВСП. В ній були введені нові класи ВСП (зокрема, анаксіальні ВСП, ВСП подвійного диференціювання або мультидиференційні), які не були класифіковані у ранішніх роботах. В роботах також були дані приклади із науково-технічної літератури, які обґрунтували введення нових класів ВСП.

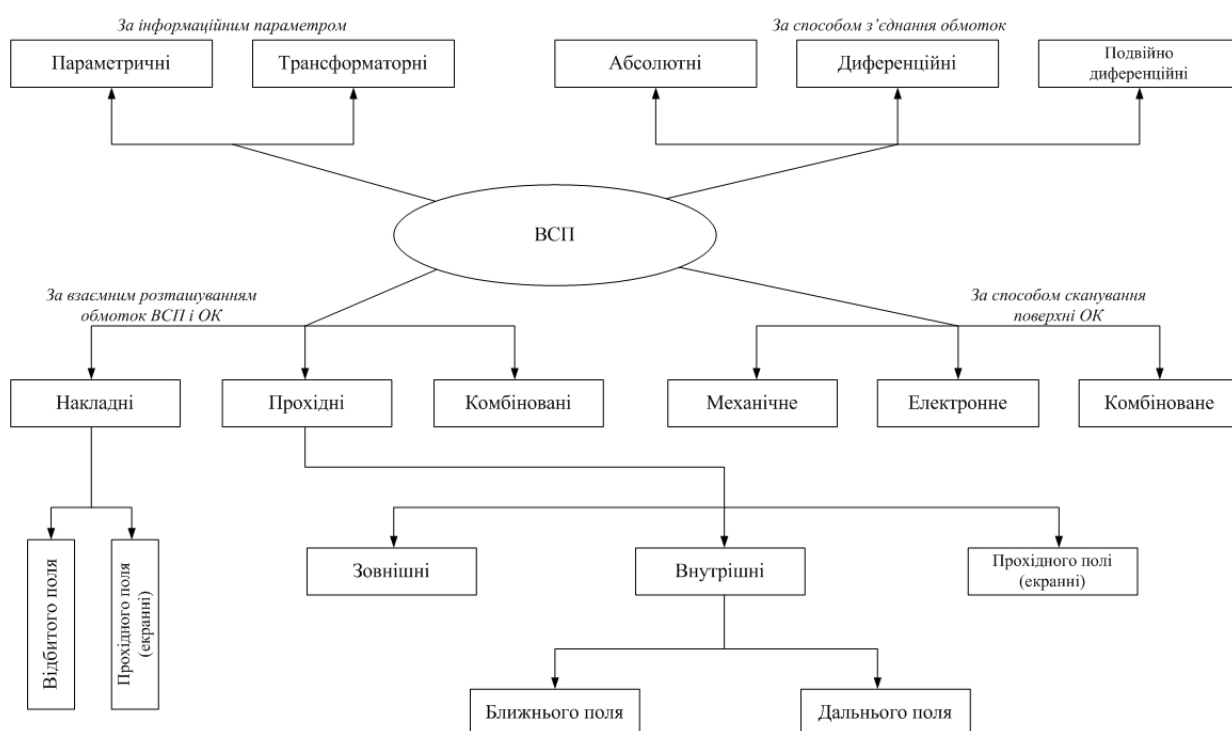
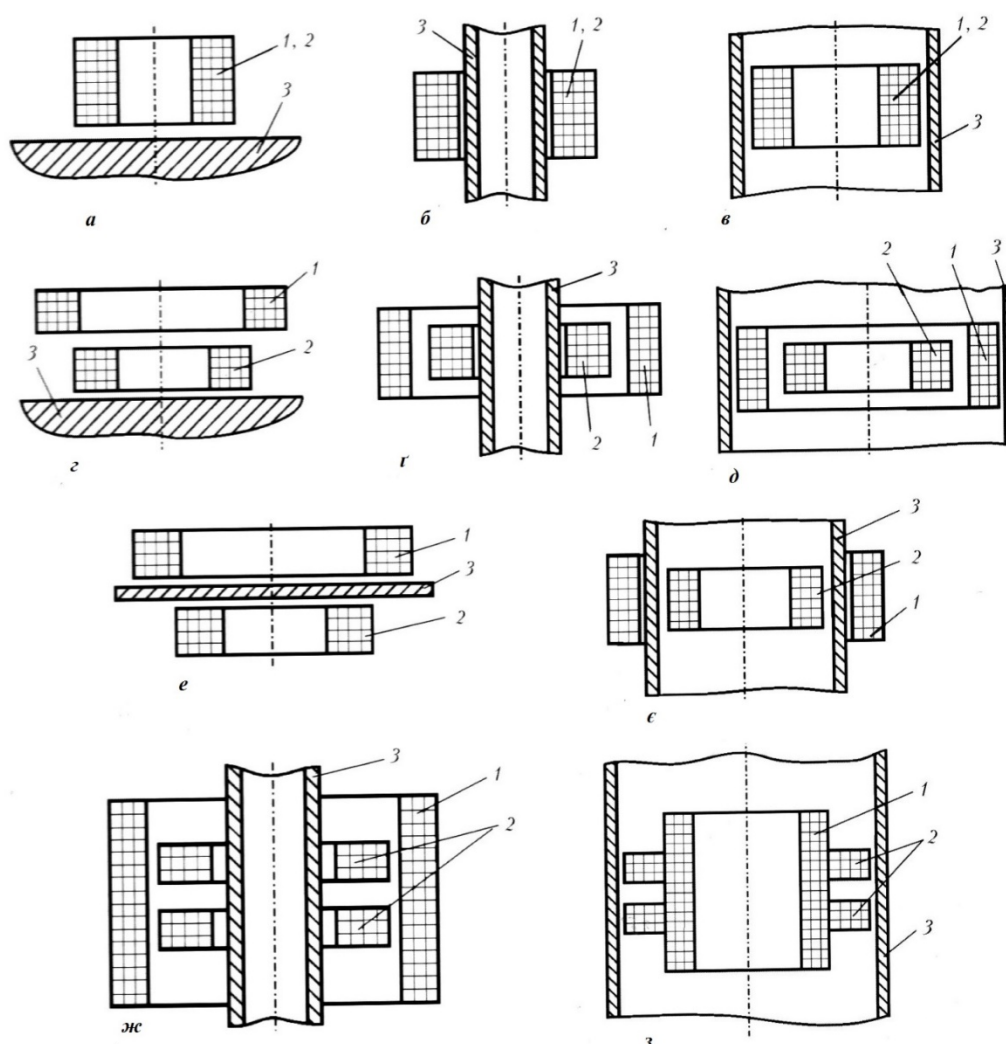


Рисунок 1.5 – Запропонована класифікація вихрострумівих перетворювачів

Аналіз нових напрацювань з вихрострумове методу показав, що існуюча загальна класифікація ВСП (не тільки накладних) також вже не відповідає сучасному стану розвитку методу. Сьогодні вже не можна нехтувати появою нових ВСП, зокрема багатоелементних ВСП (array eddy current probe) або ВСП дальнього поля (remote field), які відсутні у будь яких відомих класифікаціях. Крім того, є випадки, коли використовувані терміни не завжди відповідають фізичній суті окремих типів ВСП. В цій роботі зроблена спроба

запропонувати проект загальної класифікації ВСП з метою розпочати дискусію щодо її формування.



Параметричні (а-в); трансформаторні (г-з); абсолютні (а-є); диференційні (ж-з); накладні (а-г); прохідні зовнішні (а, б, ж); прохідні внутрішні (в, д, з); відбитого поля (а-д, ж, з); прохідного поля (екранні) (д, є); 1 – обмотка збудження; 2 – вимірювальна обмотка; 3 – об'єкт контролю

Рисунок 1.6 – Схематичне зображення конструкцій основних типів ВСП

Запропонована нова загальна класифікація використано традиційні класифікаційні ознаки. Зокрема, залежно від інформаційного параметра, тобто від того, в якій параметр перетворюються параметри об'єкта контролю (ОК),

ВСП поділяють на параметричні (рис. 1.6, а-в) та трансформаторні (рис. 1.6, г-и). Параметричні ВСП у більшості випадків мають одну обмотку, комплексний опір (імпеданс) якої залежить від характеристик ОК. Єдина обмотка параметричного ВСП виконує дві функції – збудження вихрових струмів і реєстрації реакції її інформаційних параметрів на зміну характеристик ОК. Тому на виносці рисунку 1.6 ця єдина обмотка позначена нумерацією (1,2). Трансформаторні ВСП мають, як мінімум, дві обмотки: обмотку збудження (ОЗ), яка призначена для створення первинного електромагнітного поля, і вимірювальну обмотку (ВО), на вихідну напругу якої впливають параметри ОК. Параметричні ВСП є простішими за конструкцією і можуть бути меншими за розмірами. Однак в параметричних ВСП власний опір обмотки додається до внесеного опору, що несе інформацію про параметри ОК, і нестабільність параметрів обмотки, зокрема температурна, є суттєвою. Тому вважається, що температурної стабільності легше досягнути в трансформаторних ВСП.

Залежно від поля взаємного розташування ВСП відносно ОК їх традиційно поділяють на накладні (рис. 1.6, а, г), прохідні (рис. 1.6 б, в, г, д, ж, з) та комбіновані. У свою чергу трансформаторні накладні ВСП можуть бути відбитого поля (рис.1.5), в яких усі обмотки розташовані по один бік ОК, і прохідного поля (екранні), в яких обмотка збудження і вимірювальна обмотки розташовані по різні боки ОК. Така назва краще відображає фізичну суть відповідних ВСП. Накладні ВСП містять одну або декілька обмоток, які взаємодіють з обмеженою ділянкою поверхні ОК, і є найбільш універсальними і розповсюдженими. Їх здебільш використовують для контролю плоских поверхонь та поверхонь з великим радіусом кривизни. Нагадаємо, що детальна класифікація накладних ВСП розглядалась для контролю лінійно-видовжених об'єктів (прутки, дріт, труби тощо) і поділяють на зовнішні (рис. 1.6 б, г, ж) і внутрішні (рис. 1.6 в, д, з). Зовнішні ВСП охоплюють ОК ззовні, а внутрішні проходять усередині ОК. Комбіновані ВСП є комбінацією накладних та прохідних і використовуються рідко.

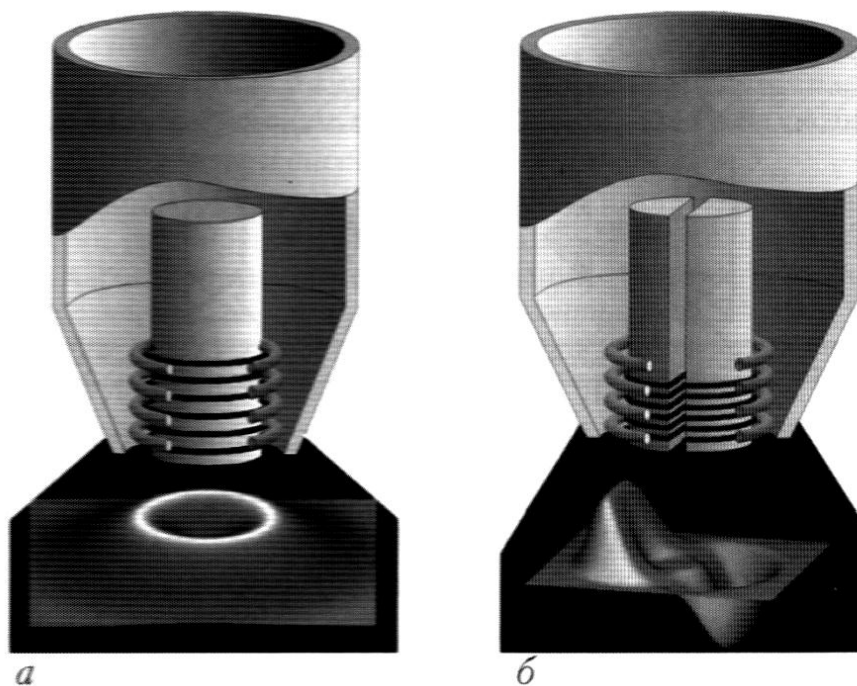


Рисунок 1.7 – Накладні ВСП абсолютного (а) і диференційного (б) типу і відповідні просторові розділи чутливості

Залежно від способу з'єднання обмоток і, відповідно, способу, перетворення параметрів ОК в параметри сигналу слід розрізняти абсолютні (рис.1.6 а-є), диференційні (рис.1.6 ж, з) і подвійно-диференційні ВСП. Вихідний сигнал абсолютного ВСП залежить від абсолютного значення параметрів ОК. На рис. 3 зображено найпростіші накладні ВСП абсолютного (а) і диференційного (б) типу, а також просторовий розділ їх чутливості до локального дефекту. ВСП подвійного диференціювання у свідомих загальних класифікаціях не були присутні, так як в роботах вони були введені тільки для накладних ВСП. Раніше накладні цього типу називалися мультидиференційними. Але цей термін не відповідав європейському стандарту з термінології, в якому було введено термін «подвійно диференційний перетворювач» (double differential probe) і «подвійно-диференційне вимірювання» (double differential measurement).

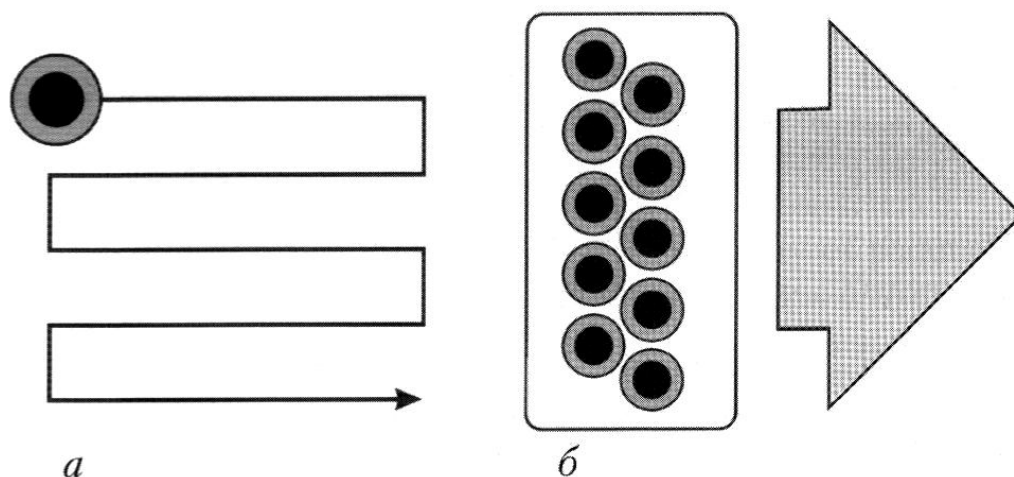


Рисунок 1.8 – Процедури вихрострумового контролю за механічного (а) і комбінованого (електронного і механічного) сканування багатоелементними ВСП (б)

Подвійно-диференційне перетворення сигналів ВСП більше притаманне для ВСП прохідного типу. Для накладних ВСП подвійно-диференційні перетворення, які розглядались детально в роботі, є не настільки очевидні.

Сканування і збирання інформації може бути реалізовано шляхом традиційної процедури механічного сканування поверхні ОК, яка для накладних ВСП найчастіше здійснюється шляхом зигзагоподібного пересування ВСП по контрольованій поверхні (рис.1.8 а). Новим перспективним напрямком розвитку технологій вихрострумового контролю є використання багатоелементних ВСП (array eddy current probe) з електронним підключенням елементів до дефектоскопу. Враховуючи перспективи багатоелементних ВСП розроблено відповідний стандарт, який знаходиться на стадії затвердження. При використанні багатоелементних ВСП може бути реалізоване комбіноване сканування поверхні ОК, коли електронним способом шляхом мультиплексування багатоелементних ВСП збирається інформація в одному напрямку, а сканування усієї поверхні ОК здійснюється механічним переміщенням у перпендикулярному напрямку (велика стрілка на рис.1.8 б).

Розташування окремих обмоток багатоелементного ВСП у 2 ряди на рис.1.8 б використано для усунення «мертвих» зон. Такий спосіб збирання інформації з поверхні ОК є наразі найбільш використовуваним. Можливе і повне виключення механічного сканування поверхні ОК може бути заповнена обмотками багатоелементного ВСП.

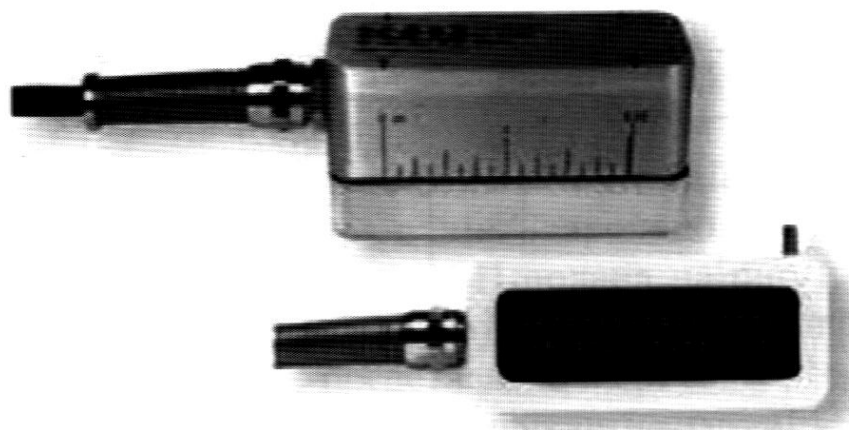
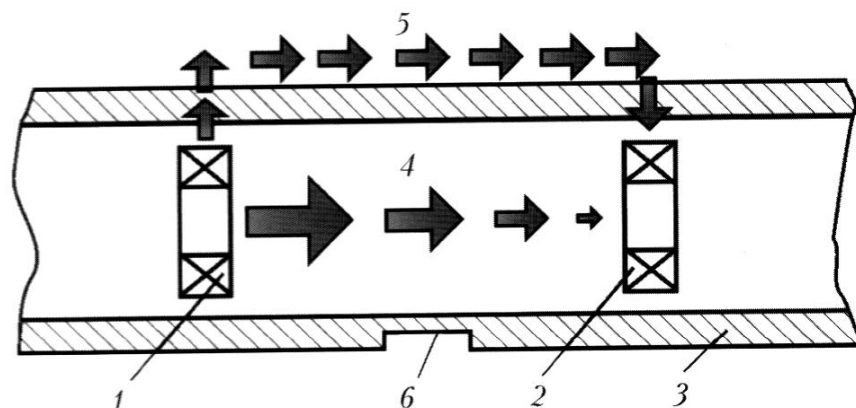


Рисунок 1.9 – Багатоелементний ВСП фірми Olympus NDT

Недоліком чисто механічного способу сканування поверхні ОК є низька продуктивність контролю, а також низька його достовірність за ручного контролю або необхідність використання спеціального сканера під час механізованого контролю. Використання багатоелементних ВСП значно підвищує продуктивність контролю. Але вартість таких ВСП і багатоканальних дефектоскопів, споряджених керованим мультиплексорним блоком, є набагато вищою, ніж вартість одно канальних дефектоскопів. В якості прикладу можна назвати прилад OmniScan MX фірми Olympus NDT, який підтримує роботу з багатоелементним ВСП (рис.1.9), кількість елементів в якому може досягати 32-х (а при використанні зовнішнього мультиплексору багатоелементний ВСП може складатися із 64 елементів). Ще більше вражають прилади ECTANE 2 канадської фірми EDDYFI, окремі модифікації якого можуть мати до 256 елементів в одному багатоелементному ВСП. Ця фірма випускає також гнучкі

багатоелементні ВСП, які легко адаптуються для контролю об'єктів з різною кривизною поверхні.



1 – ОЗ; 2 – ВО; 3 – контрольована труба; 4,5 – пряме і непряме електромагнітні поля; 6 - пошкодження труби

Рисунок 1.10 – ВСП дальнього поля

Прохідні внутрішні ВСП трансформаторного типу на рис.1.6 е, и можна назвати перетворювачами ближнього поля на відміну від внутрішніх ВСП дальнього поля, які переважно і найефективніше використовують для вивчення дефектів труб теплообмінників із феромагнітних сплавів (рис. 1.10). В цій технології використовують найчастіше одну ОЗ 1 і одну або дві ВО 2, яка (які) виконані коаксіальними відносно контрольованої труби 3. При цьому ВО розташовано на відстані, що дорівнює приблизно 2...4 діаметри труби. Крім того, використовують достатньо низькі робочі частоти, щоб зменшити згасання вихрових струмів. В таких ВСП розділяють первинне пряме 4 і непряме 5 вторинне електромагнітні поля (показано умовно стрілками на рис. 1.10). На відстані більше двох діаметрів від ОЗ пряме електромагнітне поле ВСП дальнього поля різко зменшується, в той час як непряме розповсюджується далі. Метод дальнього поля базується на використанні непрямого 5 електромагнітного поля, що виходить назовні труби, тобто досягає ВО двічі проходячи через стінку труби. Вважається, що на певній віддалі від ОЗ вплив цієї складової стає суттєвішим, ніж електромагнітне поле прямої взаємодії, яке

використовується в звичайних прохідних ВСП. Під час проходження електромагнітного поля через стінку труби воно змінюється за амплітудою і фазою залежно від локальної товщини стінки, що може бути використано для оцінки глибини і протяжності корозійних пошкоджень під час інтерпретації результатів контролю. Для таких ВСП вплив точності їх центрування відносно контролю. Для таких ВСП вплив точності їх центрування відносно контрольованої труби є не таким суттєвим порівняно зі звичайним внутрішнім прохідним ВСП. Технології контролю за методом дальнього поля забезпечують приблизно однакову чутливість до дефекту на внутрішній і зовнішній поверхні труби.

Таким чином, розглянуто конструкції основних типів ВСП, що входять до нової загальної класифікації.

1.8 Висновки до розділу 1

За способом отримання первинної інформації про магнітне поле розсіювання дефектів, первинними перетворювачами параметрів поля розрізняють такі методи магнітної дефектоскопії: магнітопорошковий, магнітографічний, магнітонапівпровідниковий, індукційний, ефекта Холла, ефекта Гаусса (магніторезистивний), ферозондовий та інші.

Магнітопорошковий метод має високу чутливість, але не піддається автоматизації. Інші методи передбачають перетворення характеристик магнітного поля в електричні величини – ЕРС, струм, електричний опір тощо.

Методи магнітодіодів, магніотранзисторів, ефекту Холла, ефекту Гаусса (магніторезистивний) відрізняються тим, що відповідні первинні вимірювальні перетворювачі характеристик магнітного поля мають мінімальні розміри отже забезпечують високу розрізнявальну здатність вимірювання і мінімальний вплив на вимірювані поля розсіювання дефектів.

2 РОЗРОБКА ДАТЧИКА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ

В даному розділі розглянуто питання щодо розробки електромагнітного датчика для листового прокату.

2.1 Теорія роботи індукційних перетворювачів

У переважній більшості випадків при магнітному контролі доводиться мати справу з вимірюванням або індикацією магнітних полів поверхні виробів. Для цього застосовують різні магнітні перетворювачі, з яких найбільш широкого поширення набули індукційні, ферозондові, холловські магніторезистивні. В магнітопорошкових та магнітографічних установках застосовують різні порошки та стрічки.

Пасивний індукційний перетворювач являє собою котушку (контур) з числом витків w . У відповідності зі знаком електромагнітної індукції на кінцях котушки виникає миттєво електрорушійна сила (ЕРС)

$$e = -w d\Phi / dt, \quad (2.1)$$

де $d\Phi$ – зміна за малий час dt повного магнітного потоку (потокозчеплення);

w – повний магнітний потік, Вб,

$$\Phi = \mu_0 \mu H S \cos \alpha, \quad (2.2)$$

де H – модуль напруженості магнітного поля;

α – кут між вектором H і нормаллю до площини котушки;

S – площа котушки.

З формули випливає, що пасивний індукційний перетворювач не може бути використаний для вимірювань постійних і однорідних полів [можна, правда, здійснити умови $S = S(t)$, $\alpha = \alpha(t)$ або використовувати сердечник з $\mu_T = \mu_T(t)$, але у всіх цих випадках індукційні перетворювач стає активним]. якщо $H = H(x)$, то при русі перетворювача щодо цього поля

$$e = -A \frac{dH(x)}{dt} = -A \frac{dH}{dx} \frac{dx}{dt}, \quad (2.3)$$

де A - коефіцієнт пропорційності; тобто що виникає ЕРС пропорційна швидкості відносного руху котушки і градієнту поля.

Коефіцієнт A збільшується при використанні котушки з сердечниками, виготовленими з матеріалів з високою магнітною проникністю. Це дозволяє зменшити габарити індукційних перетворювачів (зменшити S або w), проте характеристика перетворювача стає нелінійною, крім того слід пам'ятати, що μ_T (проникність сердечника) визначається розмірами сердечника. Можливе використання комбінацій котушок; наприклад, дві котушки, включені зустрічно, — двокотушечний диференційний перетворювач.

Для однокотушкового індукційного перетворювача

$$e_1 = -w\mu_T S \cos \theta_1 \frac{dH_1}{dt}, \quad (2.4)$$

для двокотушкового диференційного перетворювача

$$e_2 = -w\mu_T S \left(\cos \theta_1 \frac{dH_1}{dt} - \cos \theta_2 \frac{dH_2}{dt} \right), \quad (2.5)$$

де e_1 і e_2 індуковані ЕРС;

w - число витків котушки;

S - площа сердечника або середнього витка перетворювача без сердечника;

θ_1 і θ_2 - кути між віссю котушок і вектором напруженості магнітного поля в місцях поширення катушки;

μ_T - магнітна проникність сердечника (проникність тіла):

$$\mu_T \approx \frac{\mu}{1+[1-1/\gamma^2+(1/\gamma^2-1/\gamma)\arctg\gamma]}; \quad (2.6)$$

$$\gamma = \sqrt{1-(d/l)^2}; \quad (2.7)$$

де μ - магнітна проникність речовини осердя;

d - діаметр сердечника;

l - довжина сердечника.

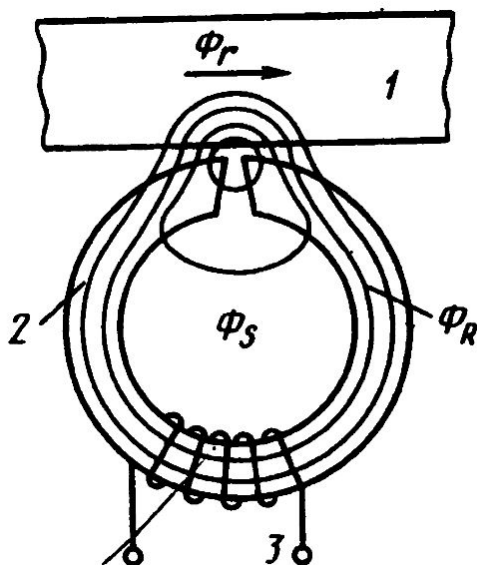


Рисунок 2.1 – Розгалуження локального магнітного потоку Φ_r .

Магнітна індукційна голівка являє собою різновид пасивного індукційного перетворювача (рис.1). Вона складається з катушки яка знаходиться на кільцевому магнітопроводі з робочим зазором. Локальним магнітним потоком Φ_r носія 1 через голівку розгалуджувача на потік Φ_r , що проходить через кільцевий сердечник 2 і зчіплюються з обмоткою 3 (корисний

потік), і потік Φ_S , минаючий сердечник. Ефективність сердечника магнітної головки

$$E = \frac{\Phi_R}{\Phi_S} = \frac{1}{1 + \frac{I_C Q_S}{I_S Q_C \bar{\mu}_c}}, \quad (2.8)$$

де I_S - середня довжина магнітних силових ліній в зазорі, що має площу поперечного перерізу Q_S ;

I_C - середня довжина магнітних силових ліній в осерді головки, площа поперечного перерізу якого дорівнює Q_C ;

$\bar{\mu}_c$ - середня магнітна проникність матеріалу головки.

Як матеріал для сердечника головки використовують пермалой (709НМ, 80НХС), ферити (1000, 1000Нм). Як і в попередньому випадку сигнал на виході головки пропорційний градієнту поля і швидкості переміщення головки щодо поля. Головки характеризуються не тільки чутливістю, але і частотною характеристикою, при цьому в приватному спектрі можуть бути істотно пригнічені нижчі гармонійні складові сигналу.

У дефектоскопах використовуються або спеціальні головки, або ті котрі серійно випускаються.

На відміну від пасивних індукційних перетворювачів ферозондові перетворювачі (ферозонди) є пристроями активного типу. Процеси, що відбуваються в них, завжди пов'язані з впливом двох полів - зовнішнього вимірюваного поля і додаткового допоміжного поля збудження, утвореного за рахунок струму, що протікає в одній з обмоток.

2.2 Класифікація дефектів прокату

При прокаті профілів із злитків дефекти злитка частково переходять в катаний метал, видозмінюючи свою форму і розміри. Одночасно можуть

додатися нові дефекти, викликані неправильною формою і якістю інструменту, неправильним режимом охолодження.

При прокаті профілів із злитків дефекти злитка частково переходять в катаний метал, видозмінюючи свою форму і розміри. Одночасно можуть додатися нові дефекти, викликані неправильною формою і якістю інструменту, неправильним режимом охолодження.

Нижче наводяться найбільш поширені дефекти заготовок.

Закати утворюються на поверхні прокатоного металу і мають вигляд двох поздовжніх діаметрально розташованих складок глибиною понад 0,5 мм. Є наслідком зносу струмків в прокатних валках.

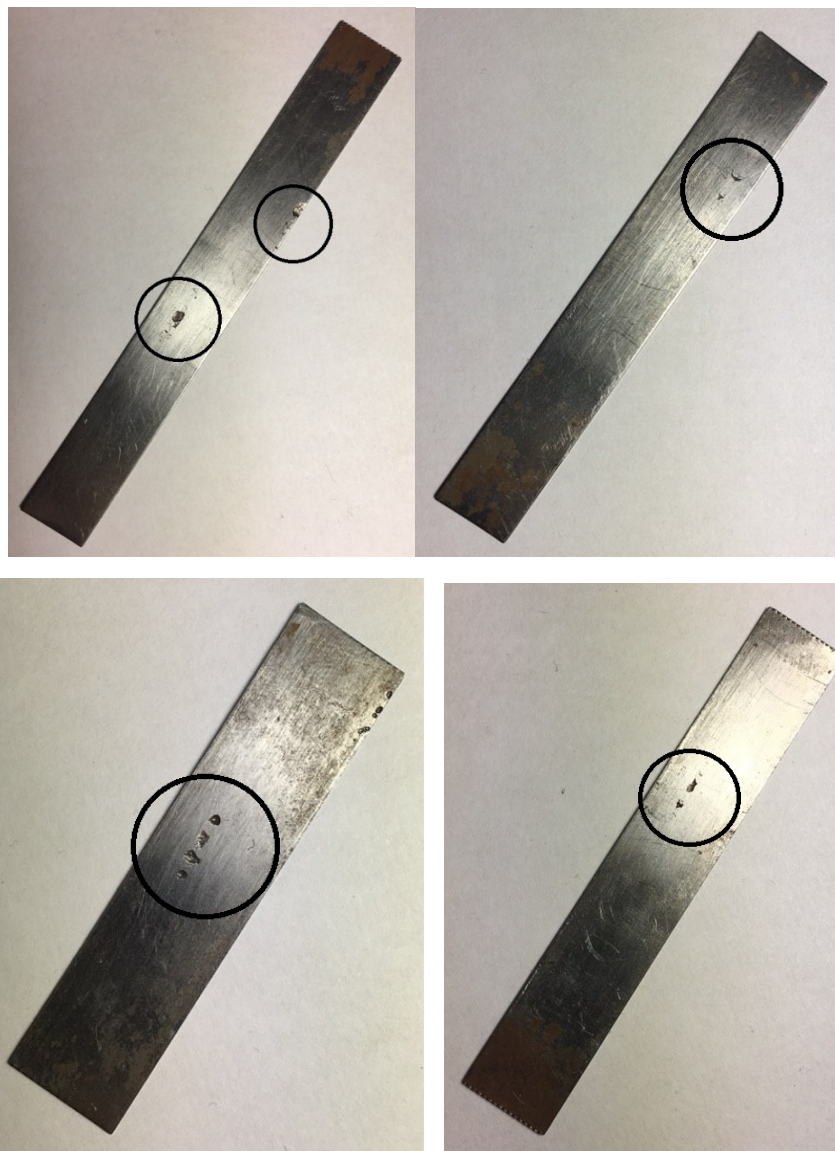


Рисунок 2.2 – Фрагменти металевої стрічки з дефектами

Плени. Як уже зазначалося, утворюються при розкочування бризок, застиглих на стінках виливниці при розливання сталі. Відшаровуються з поверхні поковки.

Флокени – дуже тонкі тріщини (в соті частки міліметра і менше), діаметр флокени від 0,5 до 30..50 мм. При зламі виявляються у вигляді сріблястих плям кругової форми кристалічної будови.

Флокени завжди знаходяться в серцевинних зонах сталевих виробів. Чим більше розмір поковки або заготовки, отриманої гарячої обробкою, тим більше ймовірність утворення в ній флокенів. У прутках діаметром до 50 мм флокени невідомі.

При роботі вироби в умовах змінних навантажень флокени можуть стати причиною раптових аварій.

Причиною утворення флокенів є наявність водню в сталі. Дослідженнями встановлено, що при утриманні в сталі до 0,0005 % (по вазі) водню флокени не виникають. Водень потрапляє в сталь в процесі плавки з вологи, що вноситься в піч шихтою, флюсами та ін. Тому при виплавці сталі необхідно вживати заходів, що перешкоджають попаданню водню в плавильну піч (прожарювання шихти, відсутність підсосу повітря і т.д.).

Найпростішою тепловою обробкою сталі, при якій флокени не утворюються, є безперервне уповільнене охолодження поковки. Тривалість охолодження встановлюється дослідним шляхом на зразках з Флокеночутливої сталі. Практично охолодження поковок ведеться в колодязях з золою або в печі.

Волосовини представляють собою тонкі тріщини довжиною від одного до декількох десятків міліметрів. Часто між стінками волосовини знаходяться шлакові включення. Волосовини можуть перебувати і на поверхні, і в глибині металу.

Поверхневі волосовини є розкатані дефекти злитка – раковини, газові бульбашки, плен, неметалеві включення, також виникають у процесі деформування. На металургійних заводах поверхневі волосовини видаляються з прокатоного металу зубилами, наждаковими колами і т. д.

При куванні волосовини можуть поширитися і дати великі тріщини, що ведуть до руйнування. Деталь з волосовинами йде в брак.

Розшарування в стали можуть з'явитися результатом деформації дефектів зливка тріщин, газових бульбашок, неметалевих включень, а також з'явитися в процесі кування. Найбільш часто це буває в тому випадку, коли велика площа контакту металу з бойками при малій висоті поковки (відношення ширини поковки до її товщині більше трьох), при недостатньо високій температурі кування і напрямку удару перпендикулярно волокнам металу. Ковальські розшарування знижують міцність виробів і збільшують брак по гартованих тріщинах.

Для запобігання розшарування необхідно вести ковку при високих температурах, напрямок удару повинно бути паралельно напрямку волокна в заготівлі, щоб вісь заготовки не збігалася з довгою віссю виробу.

Тріщини на заготовці можуть бути дефектом зливка або утворюються при неправильному охолодженні поковки. При швидкому охолодженні в першу чергу охолоджуються зовнішні шари металу, які стискаються і діють на внутрішні гарячі шари. Коли зовнішні шари охолоджуються настільки, що вже не зменшують свої розміри, внутрішні шари, котрі ще охолоджуються, продовжують зменшувати свої розміри, можуть відірватися від зовнішніх шарів і дати тріщину, розташовану по кільцю. Це особливо небезпечно при куванні легированих сталей і поковок великого перерізу.

Дана робота спеціалізується на контролі стрічки з дефектами які наведені на рисунку 2.2.

2.3 Установка контролю металевої стрічки

Труба, основна ідея конструкції якої запозичена у природи, являє собою, поза сумнівом, один з найстаріших конструктивних елементів; час першого її використання людиною тепер встановити неможливо, оскільки перші труби виготовляли з неміцних матеріалів типу очерету, бамбука, дерева. Найбільш

давня металева труба, що збереглася до наших днів, виготовлена з міді. Дуже точні дані дійшли до нас про виготовлення і використання труб у стародавньому Римі. У ті часи застосовували литі труби з бронзи і труби з металевого листа з паяним швом.

У століття розвитку техніки і нових винаходів до виробництва труб почали пред'являти все більш високі вимоги. Спочатку для парових котлів і машин вважалися цілком придатними клепані і карбовані сталеві труби, але незабаром способи виготовлення і контролю якості труб треба вдосконалювати, і в ході безперервного розвитку вони досягли сучасного рівня.

Трубна продукція часто використовується для підприємств паливно-енергетичного комплексу, машинобудування, будівельної індустрії, оборонних галузей, для створення трубопровідного транспорту країни, але основу, все ж таки, складають труби, призначені для нафтогазового комплексу країни. Сталеві труби випускають в широкому діапазоні діаметрів, товщин стінок, марок сталі і різних класів точності. Вони мають високу міцність, відносно невеликою масою, пластичністю і застосовуються при індустріальному монтажі.

З цього можна зробити висновки, що від якості труб залежить як стан навколишнього середовища, так і безпека людини. Уявіть, що у трубопроводі нафти не виявили тріщину и використали її у магістралі. Важко уявити наслідки, до чого може привести витік нафти в навколишнє середовище.

Як відомо майже усі труби виготовлюються з стрічки, тобто від якості стрічки залежить якість труби. Концепція контролю стрічки приведена на рисунку 2.3. Як видно на рисунку, металева стрічка намотана на дві різні бабіни та переміщається з однієї на другу. При переміщенні вона проходить різні етапи. Перший з них це блок електромагнітних перетворювачів, тобто стрічка сканується та результати контролю йдуть до блоку обробки та управління, після обробки результатів контролю, та виявленні дефекту, блок управління подає сигнал на маркувальник, який відмічає дефект. Далі стрічка з дефектом відрізається та відправляється до браку.

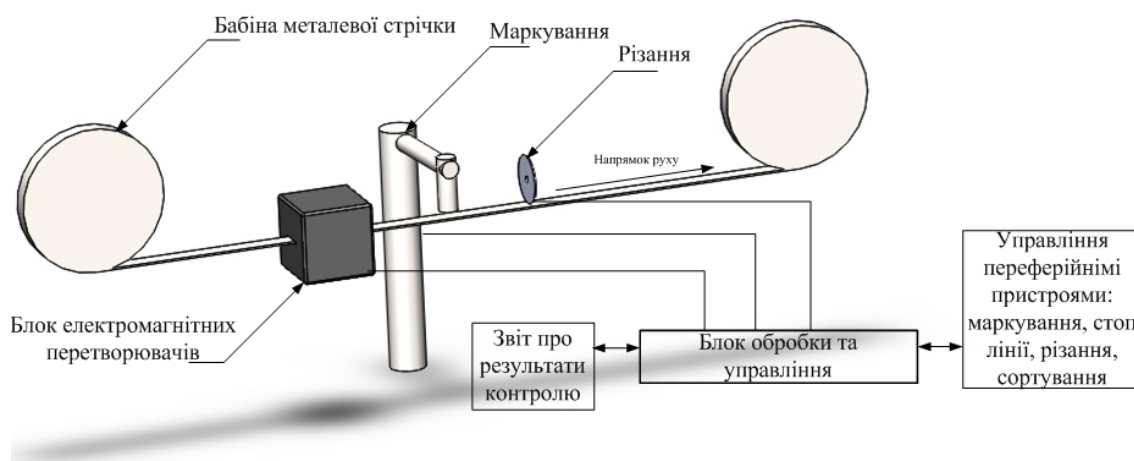


Рисунок 2.3 – Установа для контролю металевої стрічки.

2.4 Принцип дії електромагнітного датчика

Блок електромагнітних перетворювачів найчастіше містить в собі датчики та електромагніти. Принцип дії блока електромагнітних перетворювачів наведений на рисунку 2.4. Електромагніт намагнічує стрічку, а датчик сканує це магнітне поле. Як відомо однорідна металева середа має рівномірне розповсюдження магнітного поля. Датчик сканує це магнітне поле та відправляє сигнал до блоку обробки та управління. При обробці результатів порушень магнітного поля не виявляться. Коли проходить стрічка з дефектом, тобто з порушенням однорідності металевої середи, при намагнічуванні стрічки силові лінії електромагніту відхиляються від свого напрямку, тобто рівномірність розповсюдження магнітного поля порушується. Датчик визначає це порушення однорідності, та відправляє сигнал до блоку обробки та управління, він робить аналіз сигналу та бачить це порушення однорідності, цей дефект. Після цього, як сказано у пункті 2.3, робиться маркування та різання.

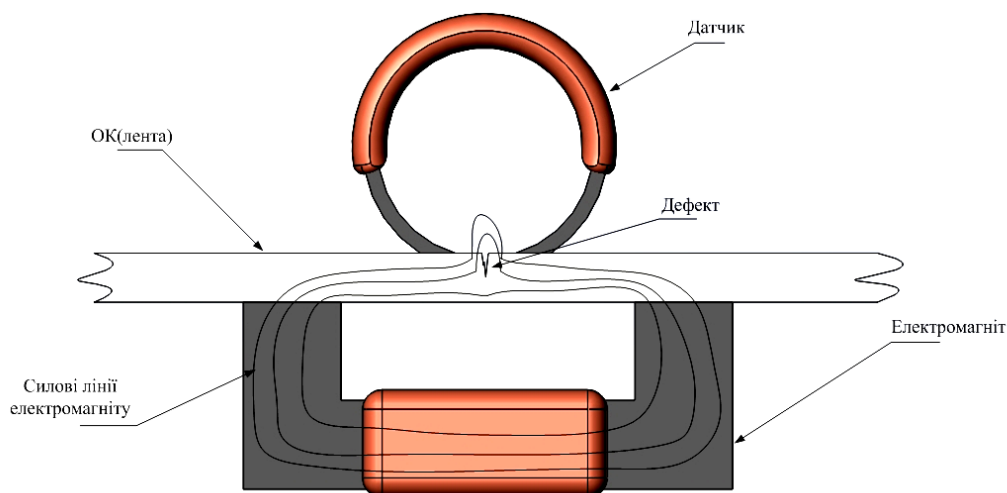
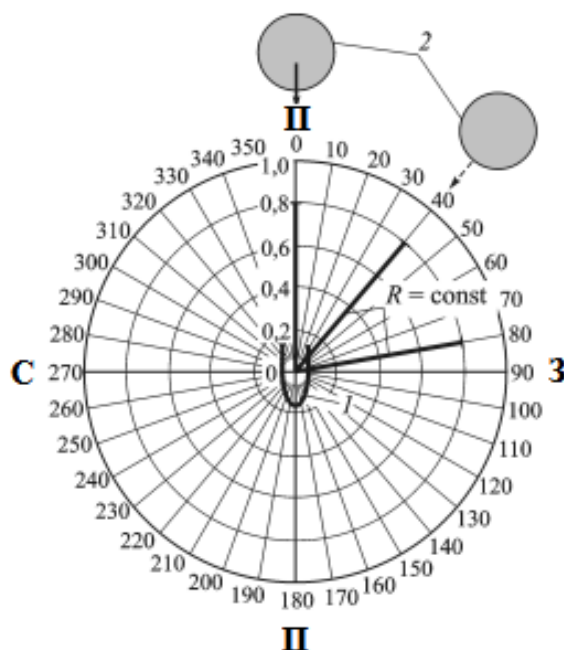


Рисунок 2.4 – Принцип дії електромагнітного датчика

2.5 Експериментальні дослідження характеристик ферозондового датчика

Для створення датчика з кращими технічними характеристиками та обґрунтування цих рішень конструкційних рішень були проведені експерименти. Для цього було зібрано схему автопідстроювання частоти (АПЧ), що перетворює відхилення частоти в вихідний сигнал. Схема складається з гетеродинна, генератора, частота якого визначається включеним в контур ферозондом, і фазового детектора. При розбіжності значень частоти генератора і гетеродинна на виході фазового детектора схеми АПЧ виробляється напруга, пропорційне різниці частот. При відсутності об'єкта пошуку частоти гетеродинна і генератора однакові, тому на виході схеми АПЧ присутній сигнал, значення якого визначається як нормоване. При появі феромагнітного об'єкта в зоні чутливості ФЗД магнітна проникність сердечника змінюється, змінюється індуктивність контуру генератора і його частота.



1 – ферозонд; 2 – об'єкт пошуку (сталева куля діаметром 3 см),
 $R = 10$ см – відстань від датчика до кулі

Рисунок 2.5 – Схема експерименту для визначення ДН ФЗД

До зорієнтованому щодо сторін світла нерухомому датчику під кутом, що змінюється з інтервалом 10° , наближався об'єкт пошуку (сталева куля). При постійній відстані від датчика до кулі фіксувалося зміна показань індикатора схеми обробки щодо вихідного значення, що і характеризує чутливість датчика, при цьому абсолютний рівень напруженості магнітного поля не вимірюються (рис. 2.5).

Були досліджені ФЗД наступних конструкцій:

- з сердечником U-подібної форми – тип 1;
- з сердечником П-подібної форми – тип 2.

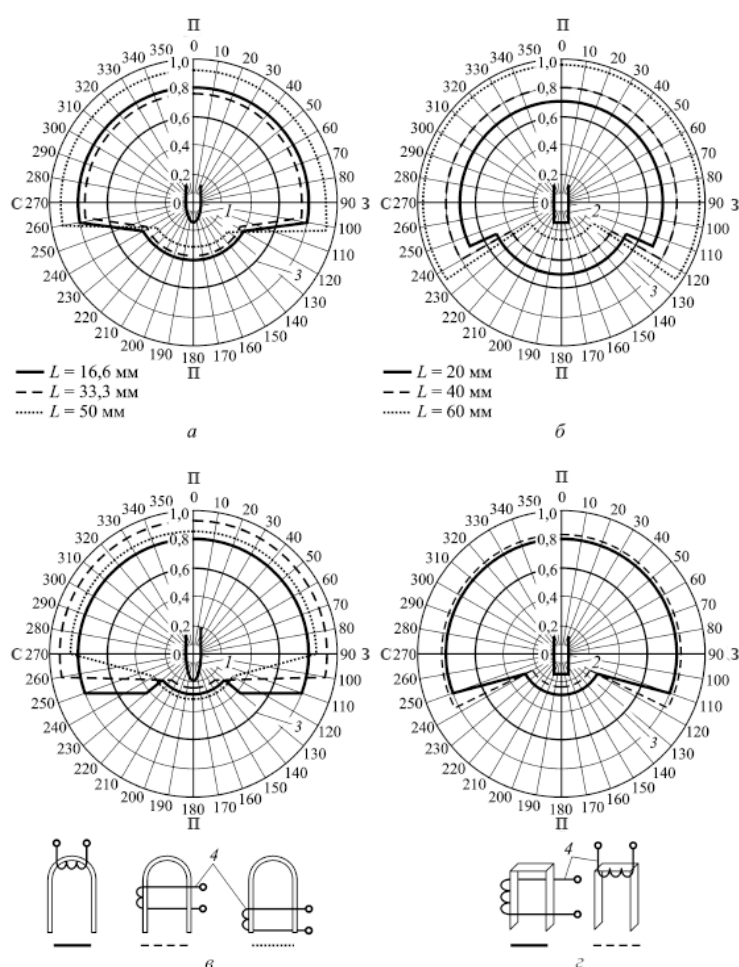
2.5.1 Загальні властивості ФЗД з будь-якою формою сердечника.

Ферозондові датчики мають двополярну ДН, тобто в залежності від кута підходу до ОП існує область негативних і позитивних збільшень вихідного

сигналу ФЗД. У двох точках ДН відбувається зміна знака збільшень вихідного сигналу ФЗД.

Знак збільшення вихідного сигналу можна зробити протипохибним, змінюючи напрямок включення ФЗД в генеруючу схему, що можна пояснити, швидше за все, асиметрією генеруючої схеми. Даний ефект вельми корисний при необхідності не тільки виявлення ОП, а й розрізнення випадків зближення з ОП (точне наведення) і проходження СБЛ на деякій відстані від ОП (промах).

Максимум і мінімум ДН відповідають поздовжньої осі сердечника ФЗД.



1 – ФЗД 1-го типу; 2 – ФЗД 2-го типу; 3 – вихідний рівень вихідного сигналу ФЗД (а, б) і нормований рівень вихідного сигналу ФЗД (в, г), L – довжина сердечника (мм)

Рисунок 2.6 – Діаграми спрямованості ФЗД 1-го типу (а, в); ФЗД 2-го типу б, г:

2.5.2 Висновки щодо впливу на ДН ФЗД положення котушки збудження на осерді.

Ферозондові датчики 1-го типу: чутливість ФЗД і форма ДН практично не залежать від того, як розташовується котушка збудження на осерді (рис. 2.6, в). Однак при розташуванні котушки збудження, що охоплює обидва плеча по середині сердечника ФЗД, не схильний до впливу ГМП, а також має більш високу чутливість (варіант виготовлення такого ФЗД кращій).

Ферозондові датчики 2-го типу: чутливість ФЗД і форма ДН практично не залежать від того, як розташована котушка збудження на осерді (рис. 2.6, г).

2.5.3 Висновки по залежності ДН датчиків від геометричних розмірів сердечника.

Діаграма спрямованості зображена суцільною, штриховою і точковою лініями відповідно до геометричних розмірами сердечників ФЗД.

Ферозонди 1-го типу: чутливість датчика пропорційна довжині сердечника до тих пір, поки дотримується певне відношення довжини до ширини для сердечника, після чого залежність не зберігається (рис. 2.6, а).

Ферозонди 2-го типу: чутливість датчика пропорційна довжині сердечника (рис. 2.6, б).

2.5.4 Висновок

Особливості конструкції виключають високі вимоги до точності виготовлення сердечників і необхідність прецизійної зборки датчика.

Виміряні ДН запропонованих U- і П-образних ФЗД підтвердили можливість їх застосування в неруйнівному контролі металовиробів.

Розроблені ФЗД відрізняються від класичних ФЗД досить широкою ДН, малою чутливістю до впливу геомагнітного поля, стійкістю до механічних впливів і простою технологією виготовлення.

2.6 Конструкція перетворювача

Розроблена конструкція відрізняється оригінальністю рішення та простотою виготовлення. При проектуванні блоку перетворювачів було враховано чималу низьку факторів.

При проходженні стрічки через блок є ймовірність що вона буде не ідеально рівною та буде пошкоджувати пластиковий корпус, тому було прийнято рішення зробити дві металеві накладки на передній та задній панелі (додаток Є), щоб зменшити тертя на корпус та підняти міцність конструкції. Також через нерівність стрічки та тертя її об датчики можливо пошкодження чутливого елементу, тому було прийнято рішення встановити підшипники по обидві сторони відносно стрічки, датчиків та напрямку руху як показано на рисунку 2.7 та додатку А. Ці підшипники допомагають стрічці бути на певній відстані від датчиків та електромагніту, щоб запобігти тертя та пошкодження, це допоможе блоку перетворювачів прослужити довго та без перебоїв.

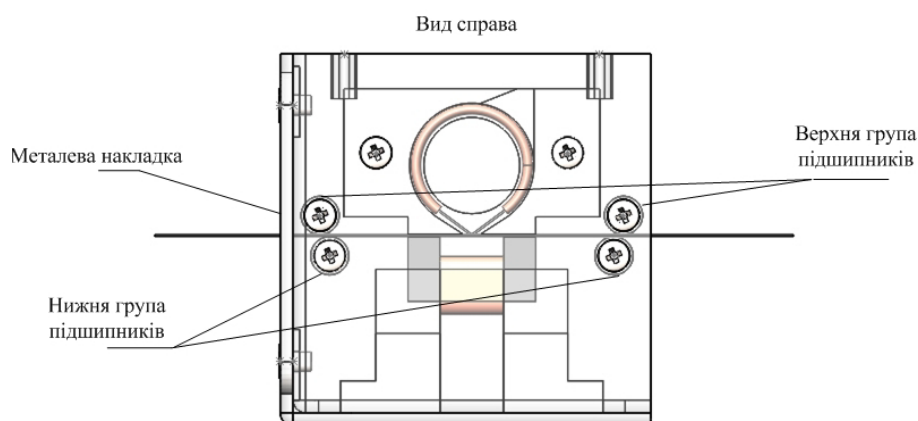


Рисунок 2.7 – Місця положення підшипників

Даний блок перетворювачів був спроектований для стрічки шириною 15мм (ширина датчика 5 мм), що дозволяє використовувати 3 датчика для даного типу стрічки (рис.2.8). Якщо потрібно контролювати стрічку іншої

ширини, кількість датчиків може бути збільшена, щоб вони повністю покривали стрічку. Можлива заміна передньої накладки для використання інших типів стрічок, а також заміна електромагніту для більшого розподілу області намагнічування.

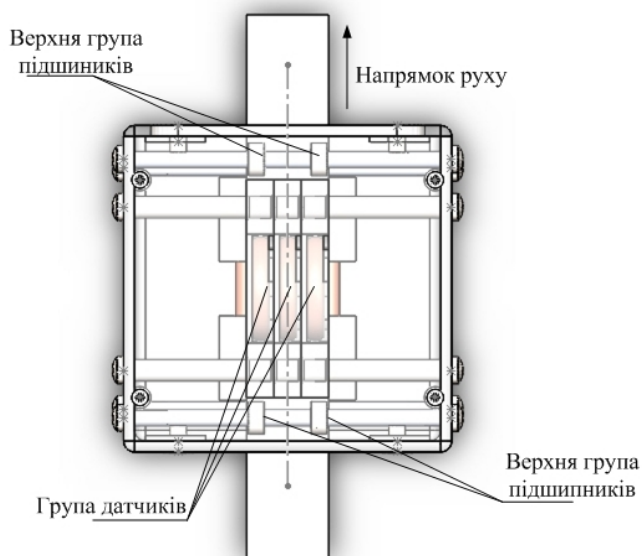


Рисунок 2.8 – Розташування датчиків



Рисунок 2.9 – Конструкція датчика

Конструкція датчику передбачає виконання у вигляді намотаної на сердечник котушки розміщеної у корпусі зі спеціальним вирізом

(рис.2.9, додаток Д). Після закладки котушки простір вирізу заливається епоксидною смолою. Після цього площину корпусу датчика, якою буде проводитися контроль, шліфують до сердечника.

2.7 Висновки до розділу 2

В даному розділі були розглянуті питання щодо розробки електромагнітного датчика для контролю листового прокату зокрема для металеві стрічки. Вивчений принцип роботи індукційних перетворювачів таких як ферозондові, холловські та магніторезистивні. Розглянуто класифікацію дефектів металеві стрічки, та вивчено природу походження цих дефектів. Приведені приклади дефектів на рисунку 2.2.

Розглянуто концепцію контролю металеві стрічки, вивчені питання щодо важливості контролю стрічки та трубної промисловості. Також розглянутий принцип дії електромагнітного датчика у блоці електромагнітних перетворювачів. Проведений експеримент для вирішення конструкційних питань датчика.

У додатках наведено конструкторські документи для створення блоку перетворювачів для контролю металеві стрічки.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті було розглянуто методи електромагнітного контролю листового прокату такі як: магнітопорошковий, магнітографічний, магнітонапівпровідниковий, індукційний, ефекта Холла, ефекта Гаусса (магніторезистивний), ферозондовий.

Запропоновано та сконструйовано установку для контролю яка складеться з двох бабін металевої стрічки, яку контролюють, маркувальника, відрізного механізму та блоку електромагнітних перетворювачів який є головною частиною.

Розроблено конструкторську документацію на блок електромагнітного перетворювача (додаток А) який складається з корпусу(додаток Б), кришки (додаток В), металевої накладки (додаток Є), шпильки для кріплення підшипників та датчиків які указані в додатку А, електромагніт (додаток Г), перетворювач (додаток Д) та гвинтів для кріплення які теж указані в додатку А.

Проведені дослідження, що обґрунтовують конструкторські рішення

Також розглянуто питання охорони праці та навколишнього середовища, та вивчені основні фактори які впливають на людину під час роботи, такі як освітлення, виробнича санітарія та клімат виробничого приміщення.

Проведено економічне обґрунтування та розраховано термін окупності який складає $T_{ок}=1,98(p)$, та економічний ефект споживача який складає $E=13330,1$ (грн.).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Магнітний неруйнівний контроль: Навчальний посібник / Ю.В. Куц, А.Г. Протасов, В.К. Цапенко, В.С. Єременко, Ю.Ю. Лисенко, К: НТУУ "КПІ", – 2012. – 139 с.
2. Білокур І.П. Основи дефектоскопії : підручник / Білокур І.П. – К. : АзімутУкраїна, – 2004. – 496 с.
3. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни "Магнітний та вихорструмний неруйнівний контроль" в 2 ч. / [укл. Алексєєв Г.О., Куц Ю.В., Маєвський С.М., Протасов А.Г.] – К. : КПІ, 1997. Ч.1, – 1997. – 43 с.
4. Неруйнівний контроль і технічна діагностика: довідниковий посібник в 5 т. / [ред. Назарчук З.Т.]. – Львів : Фізико-мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2001.- Т. 5.– 2001. – 1134 с.
5. Учанин В. М. Пропозиції щодо вдосконалення класифікації вихорструмових перетворювачів. – 2018. – 69-74 с.
6. Беда П. И., Выборнов Б.И., Глазков Ю. А. и др. Неразрушающий контроль металлов и изделий: Справочник. Самойлович Г. С. (ред.). Москва, Машиностроение. – 1976. – 456с.
7. Дорофеев А. Л., Казаманов Ю. Г., Электромагнитная дефектоскопия. Москва, Энергия, 1980. – 71-72с.
8. Учанин В. Н. «Вихретоковые накладные преобразователи: расширенная классификация, сравнительный анализ и характерные примеры реализации». Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – 24-30с.
9. Винокуров Б. Б., Мизин В. Г. Проходной вихретоковый преобразователь. – 1981. – 86с.

10. Дякин В. В., Сандовский В. А. «Теория и расчет накладных вихретоковых преобразователей». Москва. – 1981. – 136с.
11. В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Клюев и др. «Неразрушающий контроль и диагностика»: Справочник /; Под ред. В. В. Клюева. 2-е изд. и доп. – М.: Машиностроение, – 2008. – 656с.
12. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справочник / Под. Ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, – 1986. – 351с.
13. Михеев М. Н., Горкунов Э. С. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. М.: Наука. – 1993. – 245 с.
14. Шелихов Г. С. Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов. М.: НТЦ «Эксперт», 1995. – 225с.
15. Аркадьев В. К. Электромагнитные процессы в металлах. М.: Госенергоиздат, – 1973. – 230 с.
16. Зацепин Н. Н., Коржова Л. В. Магнитная дефектоскопия. Минск: Наука и техника, – 1981. – 208 с.
17. Янус Р. И. Магнитная дефектоскопия. М.: Гостехиздат, – 1961.– 172с.
18. Libby H. L. (1971) Introduction to Electromagnetic Nondestructive Test Methods. New-York etc, Wiley – Interscience.
19. Булгаков В. Ф., Жуков В. К. (1981) Проходное вихретоковое устройство. А. с. 868551 (СССР).
20. (1998) Европейский стандарт EN 1330-5:1998 Non-destructive testing – Terminology. Part 5. Terms used in Eddy Current Testing. Technical committee.
21. Н.И. Мишенева, В.В. Риве, «Исследование электрического поля дефектов в металлической пластине с применением методов компьютерного моделирования», на XXX Уральской конференции «Физические методы неразрушающего контроля», Екатеринбург, – 2017. – 33-34с.
22. А. В. Михайлов, Ю. Л. Гобов, Я. Г. Смординский, «Сильные магнитные поля рассеяния в приборах неразрушающего контроля» на международном форуме «Сварка и диагностика», Екатеринбург, – 2015. – 226-229с.

23. А. И. Потапов, В. А. Сясько, П. В. Соломенчук, А. Е. Ивкин, Д. Н. Чертов. «Электромагнитные и магнитные методы неразрушающего контроля материалов и изделий». Санкт-Петербург, Россия : Нестор-История, – 2014. – 479с.

24. С.А. Бехер, А.Л. Бобров, Основы неразрушающего контроля методом акустической эмиссии. Новосибирск, Россия: СГУПС, – 2013. – 145с.

25. Ю.В. Куц, А.Г. Протасов, В.К. Цапенко, В.С. Єременко, Ю.Ю. Лисенко Магнітний неруйнівний контроль. Київ, Україна: НТУУ "КПІ", – 2012. – 139с.

26. В.В. Дякин, В.А. Сандовский, Задачи электродинамики в неразрушающем контроле. Екатеринбург, Россия: УрО РАН, – 2014. – 39с.

27. Г.В. Бида, Магнитные свойства термоупрочненных сталей и неразрушающий контроль их качества. Москва, Россия: Маршрут, – 2006. – 304с.

28. С.В. Петин, «Обзор методов дефектоскопии при обследовании трубопроводов», Молодой ученый Ч.2 №106, – 2016. – 194-199с.

29. П.А. Бельман, Н.В. Юденко, Е.В. Шефер, «Применение магнитной дефектоскопии при техническом диагностировании подъемных сооружений», Молодой ученый Ч.2 №110, – 2016. – 131-134с.

30. А.А. Скоков, В.П. Карих, «Повышение выявляемости трещин при дефектоскопии методом трехмерной томографии», Дефектоскопия №2, 2014. – 78-89с.

31. С.М. Антипов, С.А. Смышляев, С.С. Вылцан, «Особенности магнитопорошкового метода магнитной дефектоскопии», Евразийский союз ученых, – 2017. – 38-42с.

32. А.А. Васильев, «Неразрушающий контроль и возможность его применения в авторемонтном производстве», Academy, 2017.

33. (1998) Европейський стандарт EN 1330-5:1998 Non-destructive testing – Terminology. Part 5. Terms used in Eddy Current Testing. Technical committee.