

# **1 Стан досліджуваного питання і постановка задачі дослідження**

## **1.1 Дефекти макроструктури катаних колісних центрів**

Внутрішні несучільності в катаних колісних центрах можуть мати металургійне, прокатне і термічне походження.

У сталевих злитках і виливках можуть бути присутні наступні внутрішні дефекти макроструктури у вигляді несучільностей, включень та неоднорідностей за структурою: гаряча тріщина, холодна тріщина, межкристалитная тріщина, газова раковина, усадкова раковина, жужільна раковина, усадкова пористість, газова пористість, рихлоти, неметалеві і шлакові включення, ліквация, флок.

У кованих і катаних вуглецевих сталях згідно [6] можуть бути присутні наступні дефекти макроструктури, що змінили свою форму та розміри під дією подальшого нагріву, пластичної деформації і охолодження: Ліквация, флок, грубі розкатані пори і газові бульбашки, неметалічні і шлакові включення, залишки литої структури .

В процесі виробництва, включаючи процес кристалізації великого злитку в чавунних виливниках, і подальшу пластичну деформацію після нагріву до високих температур і термічну обробку, в катаних колісних центрах утворюються внутрішні дефекти, що мають різне походження, протяжність, розміри і орієнтування щодо поверхні виробу, що мають інші акустичні характеристики, ніж основний метал і утворюють фізичну межу розділу або несучільності в обсязі металу готових виробів.

Розподіляються внутрішні несучільності в катаних колісних центрах нерівномірно, що пов'язано як з нерівномірним їх розподілом у злитку, так і різної схемою деформації металу в процесі їх виготовлення.

Несучільності металургійного походження формуються як на стадії кристалізації злитка, так і в процесі його охолодження. В процесі кристалізації злитка в металі з'являються шлакові включення. Ліквация у вигляді

ліквационних смуг вздовж напрямку злитка, сульфідні і оксидні включення. Характерний вид пластичних сульфідних і крихких оксидних включень у литий колісної сталі представлений на рис. 1.1. В процесі охолодження за рахунок термічних напружень між включеннями утворюються в окремих випадках порушення суцільності у вигляді тріщин (рис. 1.2).

В процесі подальшої гарячої пластичної деформації пластичні сульфідні включення витягуються (рис. 1.3, а), а тендітні оксидні дробляться (рис. 1.3, б) і витягуються у вигляді ланцюжка окремих включень.

Мікроструктура литий колісної сталі складається із зерен перліту обромленого феритної сіткою (рис. 1.4).

Деформація металу в процесі виготовлення катаних колісних центрів, не усуваючи дендритних ліквациї, призводить до дроблення, повороту і витягування дендритів. При порушенні технології розливання на макротемплетях спостерігається двошарова макроструктура (рис. 1.5), не має порушення суцільності металу.

Найбільш поширеним дефектом макроструктури є ліквція, витягнута вздовж напрямку деформації металу. Найбільша кількість ділянок ліквациї у вигляді ліквационних смуг спостерігається в маточині катаних колісних центрів. На сірчаних відбитках (рис. 1.6) добре видно, що вони збагачені сіркою. Окремі фрагменти ліквациї зустрічаються і в ободі катаного колісного центру, розташовуються вони частіше в зоні переходу від обода до диска. Окремі ділянки збагачені неметалевими включеннями і мають порушення суцільності (рис. 1.7). Найбільш небезпечні ліквационні скупчення, так як в процесі пластичної деформації вони сприяють утворенню неприпустимих порушень суцільності. Порушення суцільності по ліквацийних скупчень, як правило, мають протяжність понад 3 мм. Вони розташовуються, в основному, в центральній частині перетину обода або ближче до зони переходу від обода до диска, за формою витягнуті і звивисті.

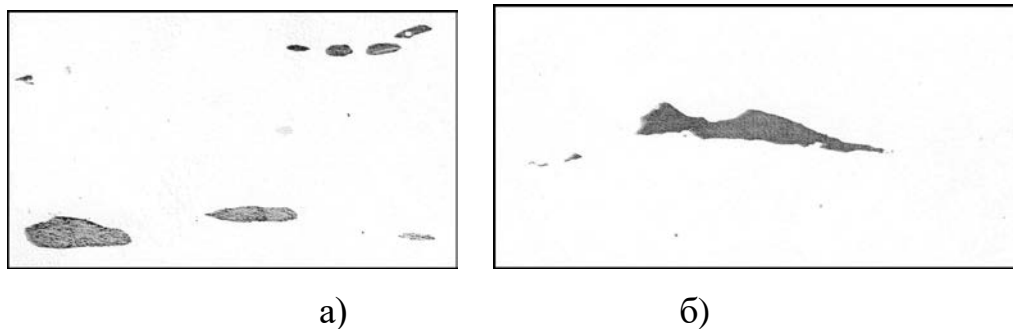
Одним з найбільш небезпечних дефектів є флок. Флок можуть мати розміри від 1 мм до 30 мм і більше. Характерний вид флоконов в ободі пред-

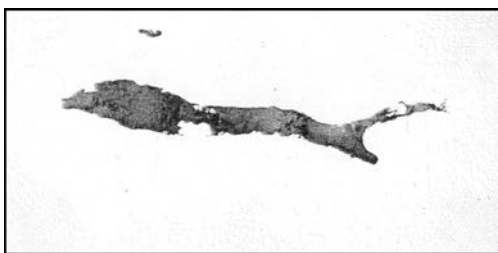
ставлений на рис. 1.8, в маточині колісного центру на рис. 1.10. В окремих випадках у поперечному перерізі обода колісного центру виявляються флок у вигляді довгих тріщин, розташованих майже паралельно внутрішньої бічної поверхні обода (рис. 1.9).

Поодинокі шлакові включення як пластичні (рис. 1.11), так і крихкі (рис. 1.12, 1.13) найчастіше зустрічаються в центральній частині перетину обода колісного центру. Їх добре видно як на темплеті після гарячого травлення (рис. 1.11), так і на темплеті після шліфування (рис. 1.12, 1.13). Вони утворюють порушення суцільності і витягнуті уздовж периметра обода колісного центру у вигляді суцільних або переривчастих ділянок довжиною до 30 мм і більше.

Такі несуцільності як бульбашки і шлакові включення (рис. 1.14) дрібні і розташовуються, як правило, поблизу внутрішньої бічної поверхні обода колісного центру. Іноді між шлаковими включеннями в процесі гарячої пластичної деформації утворюються порушення суцільності у вигляді тріщин, вони мають протяжність понад 3мм.

Своєчасне виявлення несуцільностей в катаних колісних центрах дозволить не допустити появу в експлуатації дефектних центрів та уникнути виникнення можливих аварійних ситуацій на залізницях. За допомогою макроструктурного аналізу можна проводити тільки вибірковий контроль [7]. Для проведення 100% контролю катаних колісних центрів на відсутність внутрішніх неприпустимих несуцільностей необхідне застосування неруйнівних методів контролю.





в)

Рис. 1.1. Включення в литій колісній сталі:

а - сульфідні, б, в – оксидні

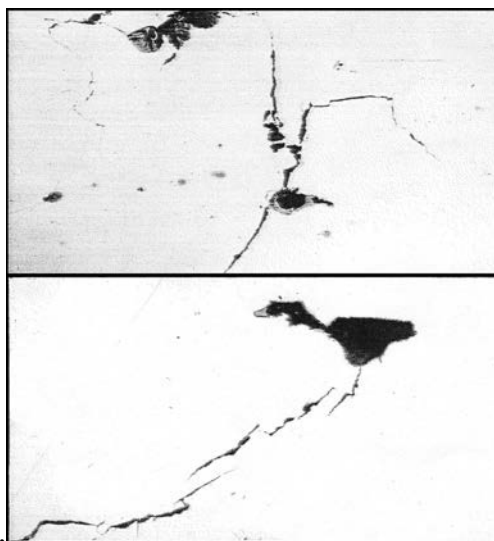
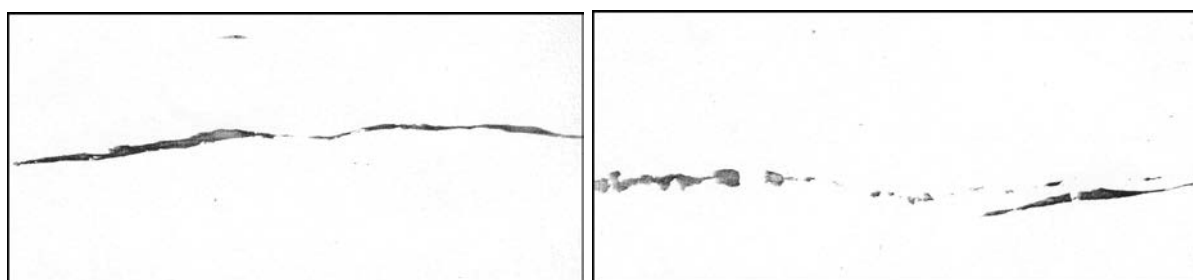


Рис.1.2. Фрагменти тріщин по і між включеннями в литій колісній сталі.



а)

б)

Рис. 1.3. Деформація включень в процесі гарячої пластичної деформації

колісній сталі: а - сульфідних; б - оксидних.

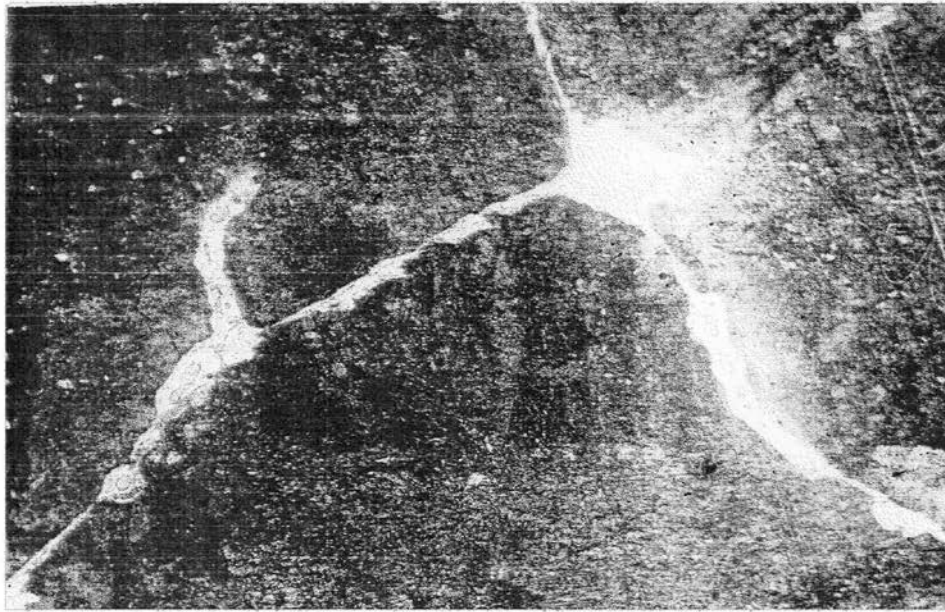


Рис. 1.4. Крупнозерниста структура литої колісній сталі.

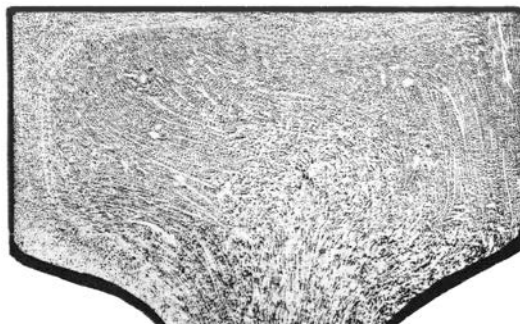


Рис. 1.5. Двошарова макроструктура в поперечному перерізі обода катаного колісного центру. Горяче травлення.

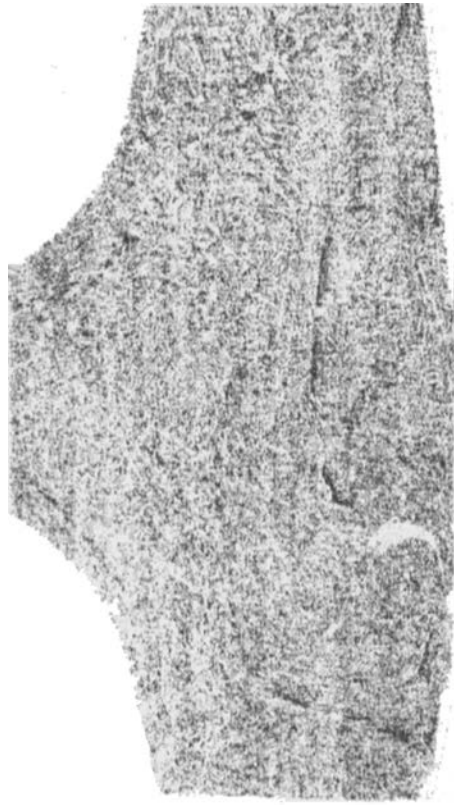


Рис. 1.6. Лiквація в поперечному перерiзi маточини катаного колiсного центру.  
Сiрчаний вiдбиток.

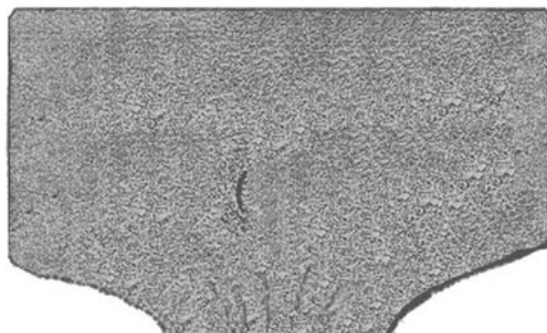


Рис. 1.7. Лiквація в поперечному перерiзi обода катаного колiсного центру.  
Горяче травлення.

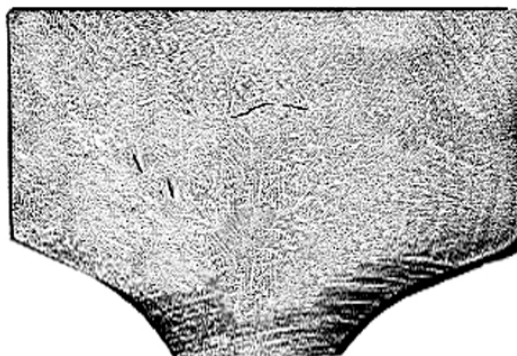


Рис. 1.8. Флокени i лiквація в поперечному перерiзi обода катаного колiсного  
центру. Горяче травлення.

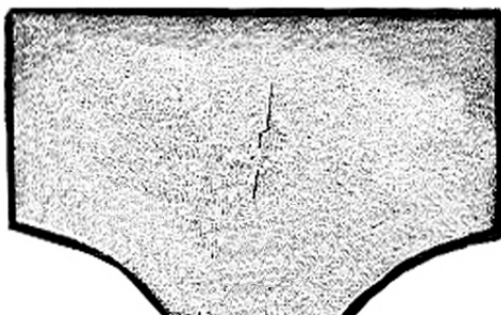


Рис. 1.9. Флокен у вигляді довгих тріщин в поперечному перерізі обода катаного колісного центру. Горяче травлення.

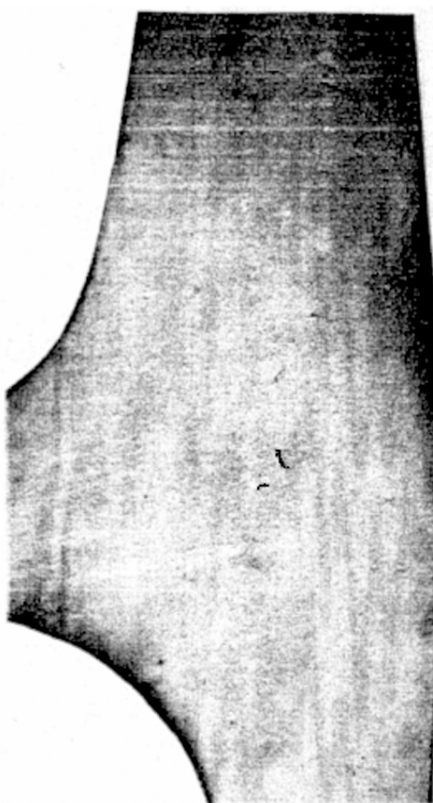


Рис. 1.10. Флокен в поперечному перерізі маточини катаного колісного центру. Горяче травлення.

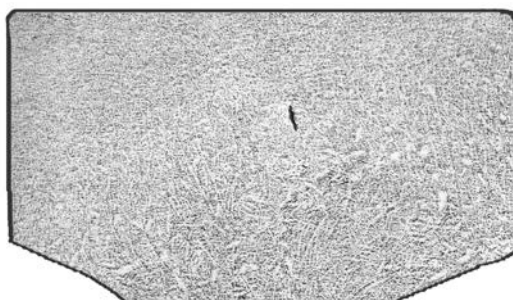


Рис. 1.11. Шлакове включення в поперечному перерізі обода катаного колісного центру. Горяче травлення.

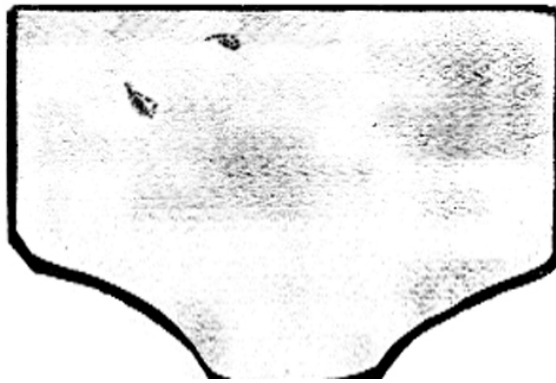


Рис. 1.12. Крихкі шлакові включення в поперечному перерізі обода катаного колісового центру. Темплет після шліфування.

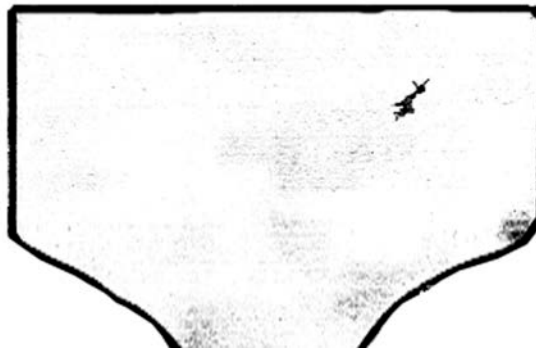


Рис. 1.13. Крихке шлакове включення в поперечному перерізі обода катаного колісного центру. Темплет після шліфування.

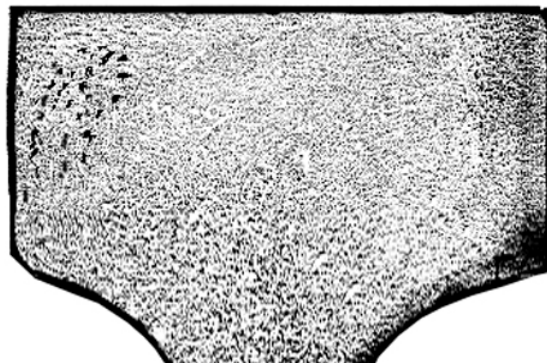


Рис. 1.14. Бульбашки і тендітні шлакові включення в поперечному перерізі обода катаного колісного центру. Горяче травлення.



## **1.2 Методи неруйнівного контролю виробів на відсутність внутрішніх неприпустимих несучільностей**

### **1.2.1 Метод вихрових струмів**

Вихрострумів методи засновані на аналізі зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться збудливою котушкою в електропровідних об'єктах контролю [5,8]. Щільність вихрових струмів в об'єкті залежить від геометричних і електромагнітних параметрів об'єкта, а також від взаємного розташування вимірювального вихрового токового перетворювача (ВТП) та об'єкта. У якості перетворювача використовують зазвичай індуктивні котушки (одну або декілька). Синусоїдальний (або імпульсний струм) струм, що діє в котушках ВТП, створює електромагнітне поле, яке збуджує вихрові струми в електропровідному об'єкті. Електромагнітне поле вихрових струмів впливає на котушки перетворювача, наводячи в них ЕРС або змінюючи їх повне електричне опір. Реєструючи напругу на затискачах котушки або її опір, отримують інформацію про властивості об'єкта і про стан перетворювача щодо його.

Особливість вихрового контролю в тому, що його можна проводити без контакту перетворювача і об'єкта контролю. Їхня взаємодія відбувається зазвичай на відстанях достатніх для вільного руху перетворювача щодо об'єкта (від частки міліметра до декількох міліметрів). Тому цими методами можна отримувати гарні результати контролю навіть при високих швидкостях руху об'єктів.

Отримання первинної інформації у вигляді електричних сигналів, безконтактність і висока продуктивність визначають широкі можливості автоматизації вихрострумівого контролю.

Одна з особливостей ВТМ полягає в тому, що на сигнали перетворювачів практично не впливають вологість, тиск і забрудненість газового середовища, радіоактивне випромінювання, забруднення поверхні об'єкта контролю непровідними речовинами.

ВТМ засновані на порушенні вихрових струмів, а тому застосовуються переважно для контролю якості електропровідних матеріалів: металів, сплавів, графітів, напівпровідників. Одним з недоліком ВТМ є мала глибина зони контролю, обумовлена завглибшки проникнення електромагнітного поля в контрольоване середовище. У дефектоскопії за допомогою ВТМ виявляють дефекти типу несучільностей, що виходять на поверхню або залягають на невеликій глибині. На рис. 1.15 показана узагальнена схема вихрострумового контролю з використанням накладного перетворювача.

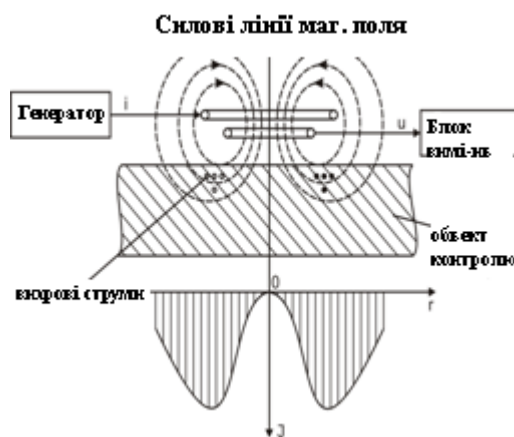


Рис. 1.15. Узагальнена схема вихрострумового контролю за допомогою накладного ВТМ

При контролі ККЦ на наявність внутрішніх неприпустимих несучільностей за допомогою метода вихрових струмів обмежується визначенням тільки поверхневих і підповерхневих несучільностей.

### 1.2.2 Радіаційні методи контролю

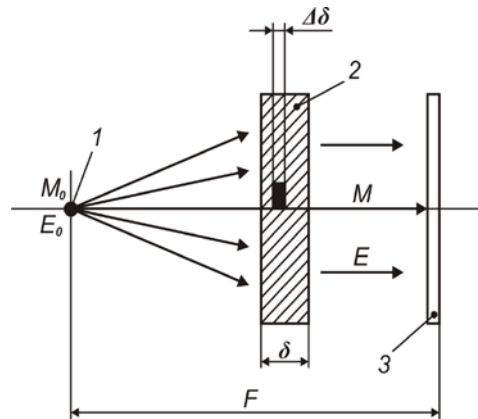
Радіаційний контроль - вид неруйнівного контролю, заснований на реєстрації та аналізі проникаючого іонізуючого випромінювання після взаємодії з контрольованим об'єктом [5,9].

При радіаційному контролі використовують як мінімум три основні елементи (рис. 1.16):

- Джерело іонізуючого випромінювання;
- Контрольований об'єкт;

- Детектор реєструє дефектоскопічні інформацію.

При проходженні через виріб іонізуюче випромінювання ослабляється - поглинається і розсіюється. Ступінь ослаблення залежить від товщини  $\delta$  і щільності  $\rho$  контрольованого об'єкту, а також від інтенсивності  $M$  і енергії  $E$  випромінювання. При наявності в контрольованому об'єкті внутрішніх несутцільностей розміром  $\Delta\delta$  змінюються інтенсивність і енергія пучка випромінювання.



1 - джерело; 2 - об'єкт контролю; 3 - детектор.

Рис. 1.16. Схема просвічування.

Недоліками радіаційних методів контролю є мала глибина проникнення рентгенівських променів, необхідність проведення контролю в стаціонарних (лабораторних) умовах, громіздкість апаратури і небезпека для здоров'я обслуговуючого персоналу.

### 1.2.3 Акустичні методи контролю

Акустичними методами називають методи контролю, засновані на застосуванні пружних коливань і хвиль, порушуваних або виникаючих в контрольованому об'єкті [5,10]. Серед інших методів неруйнівного контролю акустичні методи займають дуже важливе місце і дуже інтенсивно розвиваються в даний час. Відомо багато акустичних методів неруйнівного контролю, деякі з яких застосовуються в декількох варіантах. Класифікація акустичних методів неруйнівного контролю показана на рис. 1.17.

Акустичні методи ділять на дві великі групи: використовують випромінювання і прийом акустичних коливань і хвиль (активні методи) і засновані тільки на прийомі коливань і хвиль (пасивні методи).

Активні методи ділять на методи проходження, відображення, комбіновані (що використовують як проходження, так і відображення), імпедансні і методи власних частот.

Методи проходження використовують випромінюють та прийомні перетворювачі, розташовані по різні сторони або по одну боку контрольованого виробу. Застосовують імпульсне або (рідше) безперервне випромінювання і аналізують сигнал, що пройшов через контрольований об'єкт.

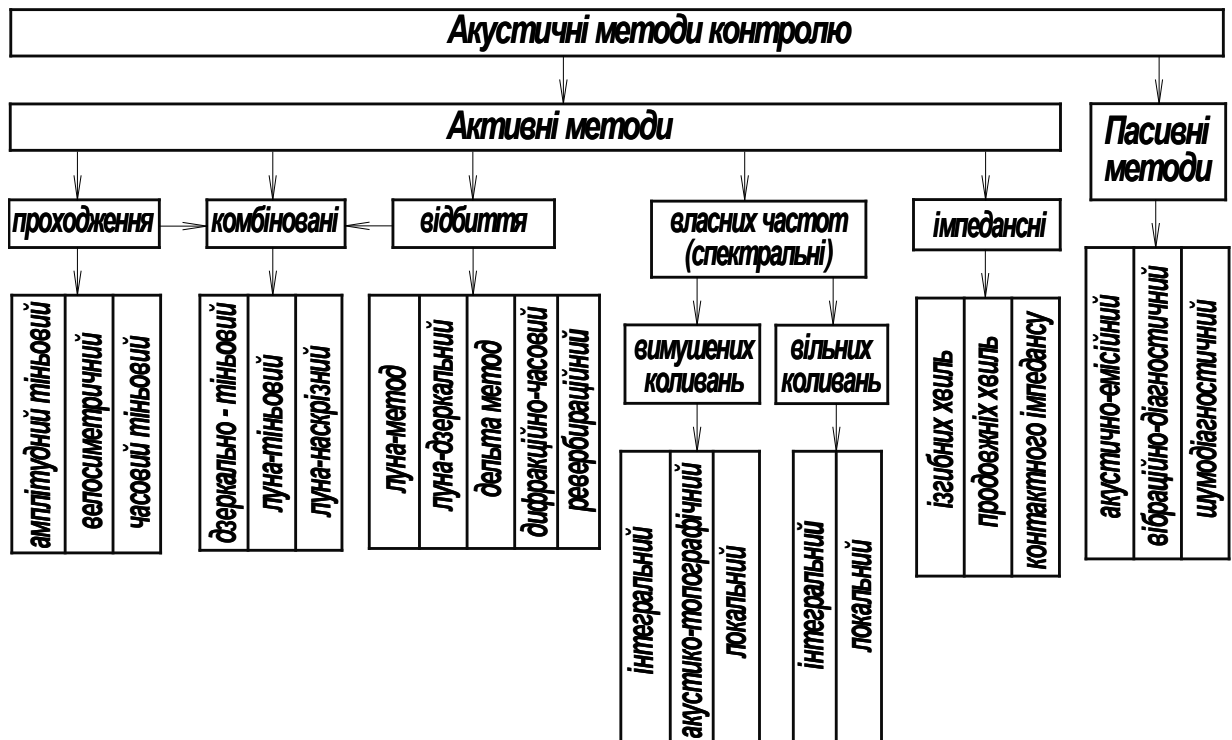


Рис. 1.17. Класифікація акустичних методів неруйнівного контролю.

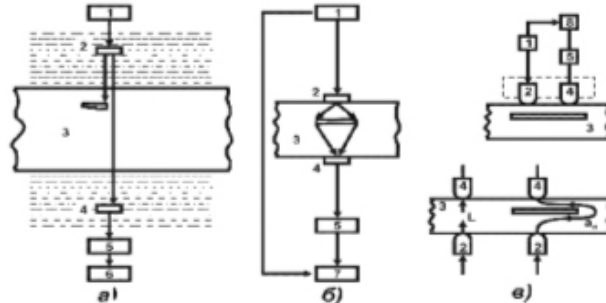
Історично методи проходження застосовували тільки для виявлення несутільностей, що змінюють параметри наскрізного сигналу внаслідок утворення за дефектом акустичної тині. Тому їх називали «тінювими». Проте потім ці методи почали використовувати для контролю міцності, пористості, структури

та інших параметрів матеріалу, не пов'язаних з наявністю тіні. тому тіньовий метод - окремий випадок методу проходження.

До методів проходження відносять:

- *Амплітудний тіньовий метод*, заснований на реєстрації зменшення амплітуди хвилі, що пройшла через контрольований об'єкт, внаслідок наявності в ньому несучільності (рис. 1.18, а) [11].
- *Тимчасовий тіньовий метод*, який базується на реєстрації запізнювання імпульсу, викликаного збільшенням його шляху у виробі при огибанні несучільності (рис. 1.18, б); тип хвилі при цьому не змінюється [12].
- *Метод багаторазового тіні* [13]. Він аналогічний амплітудному методу проходження, але про наявність несучільності судять по амплітуді наскрізного сигналу (тіньового імпульсу), багато разів (зазвичай дворазово) пройшовши між паралельними поверхнями виробу. Метод більш чутливий, ніж тіньовий або дзеркально тіньовий, так як хвилі проходять через дефектну зону кілька разів, але менш стійкий до перешкод.
- *В фотоакустичній мікроскопії* [14] акустичні коливання генеруються внаслідок термопружного ефекту при освітленні зразка модульованим світловим потоком (наприклад, імпульсним лазером), сфокусованим на поверхні зразка. Енергія світлового потоку, поглинаючись в матеріалі, породжує теплову хвилю, параметри якої залежать від теплофізичних характеристик об'єкта контролю. Теплова хвиля призводить до появи термопружних коливань, які реєструються, наприклад, одним п'єзоелектричним детектором. Сканування поверхні об'єкта контролю променем лазера синхронізовано з розгорткою екрану дисплея. Скануючи променем поверхню досліджуваного об'єкта, можна отримати інформацію про його однорідності.
- *Ультразвукова реконструктивна томографія* - наскрізне прозвучування об'єкта контролю за різними напрямками з виявленням його особливостей, отриманих при різних напрямках променів.

- *Метод лазерного детектування* - метод візуального представлення акустичних полів у твердих середовищах. Візуалізація досягається шляхом спостереження за зміщенням точок поверхні, вздовж якої поширюється ультразвукова хвиля, за допомогою лазерного інтерферометра [15].



1 - генератор, 2 - випромінювач; 3 - об'єкт контролю; 4 - приймач, 5 - підсилювач, 6 - вимірник амплітуди; 7 - вимірник часу пробігу; 8 - вимірник фази.

Рис. 1.18. Методи проходження:

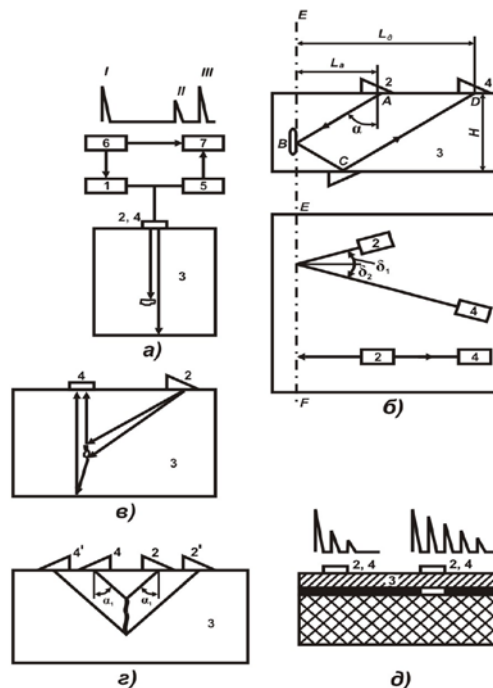
а) тіньової; б) тимчасової тіньової; в) велосіметричний.

- *Термоакустичний метод* контролю називають також ультразвуковою локальною термографією. Метод полягає в тому, що в об'єкт контролю вводяться потужні низькочастотні (близько 20 кГц) ультразвукові (УЗ) коливання. На несутцільності відбувається перетворення ультразвукових коливань в тепло. Підвищення температури фіксується термовизором. УЗ коливання модельовані за амплітудою частотою в декілька герц. Таку ж модуляцію мають і теплові хвилі. Це істотно підвищує можливість реєстрації та локалізації несутцільностей.
- *Велосіметричний метод*, заснований на реєстрації зміни швидкості поширення дисперсійних мод пружних хвиль в зоні несутцільності і вживаний при односторонньому і двосторонньому доступі [16] до контрольованого об'єкту (рис. 1.18, в). У цьому методі зазвичай використовують перетворювачі з сухим точковим контактом. У варіанті з одностороннім доступом (рис. 1.19, в, верх) швидкість порушеної випромінювачем антисиметричною хвилі нульового порядку ( $a_0$ ) у відокремленому несутцільності шарі менше, ніж в бездефектній зоні. При двосторонньому доступі (рис. 1.19, в, внизу) в бездефектній зоні енергія передається поздовжньою хвилею L, в зоні несутцільності - хвилями  $a_0$ ,

які проходять більший шлях і поширюються з меншими швидкостями, ніж по-  
здовжня хвиля. Несуцільності визначаються зі зміни фази або збільшення часу  
проходження (тільки в імпульсному варіанті) по контрольованому виробу.

У методах *відображення* використовують як один, так і два перетворю-  
вача; застосовують імпульсне випромінювання. До цієї підгрупи відносять такі  
методи контролю.

Луна-метод [17] (рис. 1.20, а) заснований на реєстрації луна-сигналів від  
дефектів. На екрані індикатора зазвичай спостерігають посланий (зондуєче)  
імпульс I, імпульс III, відбитий від протилежної поверхні (дна) виробу (донний  
імпульс) і луна-сигнал від несущільності II. Час приходу імпульсів II і III  
пропорційно глибині залягання несущільності і товщині виробу. При поєднаній  
схемі контролю (рис. 1.20, а) один і той же перетворювач виконує функцію  
випромінювача і приймача. Якщо ці функції виконують різні перетворювачі то  
схему називають роздільною.



1 - генератор, 2 - випромінювач; 3 - об'єкт контролю; 4 - приймач, 5 - підсилю-  
вач, 6 - синхронізатор; 7 - індикатор.

Рис. 1.20. Методи відображення:

а) луна; б) луна-дзеркальний; в) дифракційно-часовий; г) ревербераційний.

*Когерентні методи* відрізняються від інших методів відображення тим, що в якості інформативного параметра крім амплітуди і часу приходу імпульсом використовується також фаза сигналу. Завдяки цьому підвищується на порядок роздільна здатність методів відображення і з'являється можливість спостерігати зображення несучільностей, близькі до реальних. Найбільш ефективним когерентним методом є комп'ютерна акустична голографія.

*Дельта-метод* (рис. 1.20, в) на прийомі перетворювачем для поздовжніх хвиль 4, розташованим над несучільністю, розсіяних на несучільності хвиль, що випромінюють перетворювачем для поперечних хвиль 2.

*Дифракційно-часовий метод* (рис. 1.20, г), в якому випромінювачі 2 і 2', приймачі 4 і 4' випромінюють і приймають або поздовжні, або поперечні хвилі, причому можуть випромінювати і приймати різні типи хвиль. Перетворювачі розташовують так, щоб отримувати максимуми луна-сигналів хвиль, дифрагованих на кінцях несучільності. Вимірюють амплітуди і час приходу сигналів від верхнього і нижнього кінців несучільності.

*Ревербераційний метод* (рис. 1.20, д) використовує вплив несучільності на час загасання багаторазово відбитих ультразвукових імпульсів в контрольованому об'єкті. Наприклад, при контролі клеєної конструкції [18] із зовнішнім металевим шаром і внутрішнім полімерним шаром дефект з'єднання перешкоджає передачі енергії у внутрішній шар, що збільшує час загасання багаторазових луна-сигналів в зовнішньому шарі. Відображення імпульсів в полімерному шарі зазвичай відсутні внаслідок великого затухання ультразвукової хвилі в полімері.

У *комбінованих методах* використовують принципи, як проходження, так і віддзеркалення акустичних хвиль.

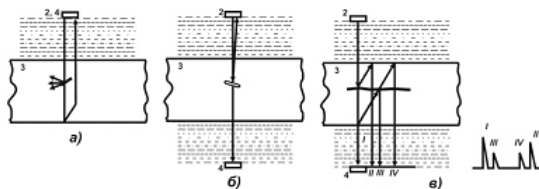




Рис. 1.22. Комбіновані методи, які використовують проходження і відображення:

- а) дзеркально-тіньовий, б) луна-тіньової; в) луна-наскрізний;  
2 - випромінювач, 4 - приймач; 3 - об'єкт контролю.

*Дзеркально-тіньовий* метод [19] заснований на вимірюванні амплітуди донного сигналу. На рис. 1.22, а відбитий промінь умовно зміщений в сторону. За технікою виконання (фіксують луна-сигнал) його відносять до методів відображення, а з фізичної сутності контролю (вимірюють ослаблення сигналу, двічі пройшовши виріб в зоні несучільності) він близький до тіньового методу.

*Ехо-тіньовий* метод заснований на аналізі як минулих, так і відбитих хвиль (рис. 1.22, б).

В *луна-наскрізному* методі (рис. 1.22, в) фіксують наскрізний сигнал I, сигнал II, що випробував дворазове відображення у виробі, а в разі появи напівпрозорої несучільності - також сигнали III і IV, відповідні віддзеркаленням хвиль від несучільності і зазнали також відображення від верхньої і нижньої поверхонь виробу. Велику непрозору несучільність виявляють по зникненню або сильному зменшенню сигналу I, тобто тіньовим методом, а також сигналу II. Напівпрозорі або невеликі несучільності виявляють по появі сигналів III і IV, які є головними інформаційними сигналами.

*Методи власних частот* засновані на вимірюванні цих частот (або спектрів) коливань контрольованих об'єктів. Власні частоти вимірюють при порушенні у виробках як вимушених, так і вільних коливань. Вільні коливання зазвичай порушують механічним ударом, вимушені - впливом гармонійної сили мінливою частоти.

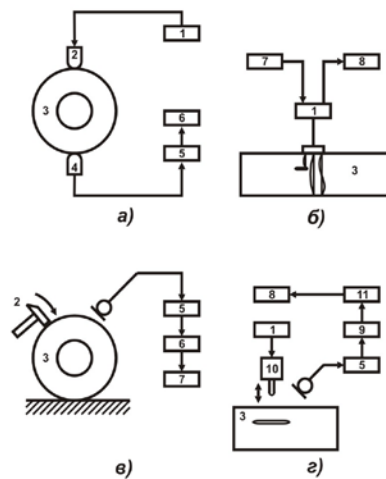


Рис. 1.23. Методи власних частот. Методи коливань: вимушених (а - інтегральний, б - локальний); вільних (в - інтегральний, г - локальний).

1 - генератор безперервних коливань мінливою частоти; 2 - випромінювач; 3 - об'єкт контролю; 4 - приймач; 5 - підсилювач; 6 - індикатор резонансу; 7 - модулятор частоти; 8 - індикатор; 9 - спектроаналізатор; 10 - ударний вібратор; 11 - блок обробки інформації.

Методи *власних частот*, які використовують вимушені коливання. В інтегральному методі генератор 1 (рис. 1.23, а) регульованої частоти з'єднаний з випромінювачем 2, збудливі пружні коливання (зазвичай поздовжні або вигнуті) в контрольованому виробі 3. Приймач 4 перетворює прийняті коливання в електричний сигнал, який посилюється підсилювачем 5 і надходить на індикатор резонансу 6. Регулюючи частоту генератора 1, вимірюють власні частоти виробу 3. Діапазон застосовуваних частот до 500 кГц.

*Локальний метод* з використанням вимушених коливань відомий як ультразвуковий резонансний метод. Його застосовують в переважно для вимірювання товщини. У стінці виробу 3 (рис. 1.23, б) за допомогою перетворювачі 2, 4 (звичайно це суміщений перетворювач) збуджують пружні хвилі (зазвичай поздовжні) безперервно мінливою частоти. Фіксують частоти, на яких зазначаються резонанси системи перетворювач – виріб. За резонансним частотам визначають товщину стінки виробу та наявність в ньому несутцільностей.

Несуцільності, паралельні поверхні, міняють вимірювану товщину, а розташовані під кутом до поверхні призводять до зникнення резонансів. Діапазон застосовуваних частот - до декількох мегагерц.

*Методи власних частот*, що використовують вільні коливання, також ділять на інтегральні та локальні.

В *інтегральному методі* у виробі 3 (рис. 1.23, в) ударом молотка 2 збуджують вільно загасаючи коливання. Ці коливання приймають мікрофоном 4, посилюють підсилювачем 5 і фільтрують смуговим фільтром 6, пропускає лише сигнали з частотами, відповідними обраної моді коливань. Частоту вимірюють частотоміром 7. Ознакою дефекту служить зміна (зазвичай зниження) частоти. Як правило, використовують основні власні частоти, що не перевищують 15 кГц.

У локальному методі (рис. 1.23, г) порушуваний генератором 1 вібратор 10 створює періодичні удари по контрольованому виробу. Електричні сигнали з приймального мікрофона 4 через підсилювач 5 надходять на спектроаналізатор 9. Виділений останнім спектр прийнятого сигналу обробляється вирішальним пристроєм 11, результат обробки з'являється на індикаторі. Крім мікрофонів застосовуються пьезопріємнікі.

Дефекти реєструють по зміні спектра прийнятого імпульсного сигналу. На відміну від інтегрального методу контроль виконується шляхом сканування виробу. Звичайний діапазон робочих частот від 0,3 до 20 кГц.

*Імпедансні методи* [20] використовують залежність імпедансом виробів при їх пружних коливаннях від параметрів цих виробів і наявності в них несучільностей. Зазвичай оцінюють механічний імпеданс, де  $i$  - комплексні амплітуди обурює сили і коливальної швидкості відповідно. На відміну від характеристичного імпедансу  $\rho_c$ , що є параметром середовища, механічний імпеданс характеризує конструкцію. У імпедансних методах використовують вигнуті і поздовжні хвилі.

При використанні вигнутих хвиль перетворювач стрижневого типу (рис. 1.24, а) містить з'єднаний з генератором 1 випромінює 2 і прийомний 4

п'єзоелементи. Через сухий точковий контакт перетворювач збуджує у виробі 3 гармонійні вигнуте коливання. У зоні несучільності з'єднання модуль  $|Z|$  механічного імпедансу  $Z = |Z| e_{j\varphi}$  зменшується і змінює його аргумент  $\varphi$ . Ці зміни реєструють електронною апаратурою. В імпульсному варіанті цього методу в системі перетворювач - виріб збуджують імпульси вільнозагасаючих коливань. Ознакою несучільності служить зменшення амплітуди і несучої частоти цих коливань.

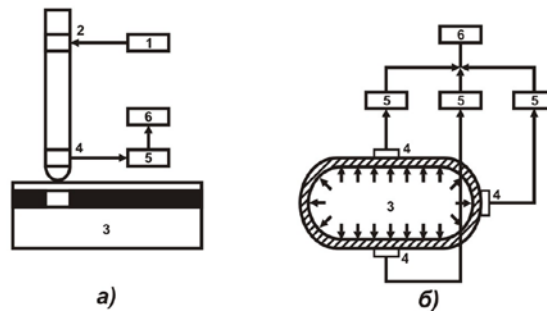


Рис. 1.24. Методи контролю:

а) імпедансний; б) акустико-емісійний;

1 - генератор, 2 - випромінювач; 3 - об'єкт контролю; 4 - приймач, 5 - підсилювач; 6 - блок обробки інформації з індикатором.

Крім суміщеного перетворювача, застосовують роздільно-сумісні перетворювачі, які мають у загальному корпусі роздільні випромінює і прийомний вібратори. Ці перетворювачі працюють в імпульсному режимі. При роботі сумісними перетворювачами використовують частоти до 8 кГц, роздільно-сумісними - імпульси з несучими частотами 15 - 35 кГц.

В іншому варіанті в контрольованій багатошаровій конструкції плоского пьезоперетворювача збуджують поздовжні пружні хвилі фіксованої частоти. Несучільності реєструють по зміні вхідного електричного імпедансу  $Z$ , пьезоперетворювача. Імпеданс  $Z$ , визначається вхідним акустичним імпедансом контрольованої конструкції, що залежить від наявності та глибини залягання несучільності з'єднання між її елементами. зміни  $Z$ , представляють у вигляді точки на комплексній площині, положення якої залежить від характеру несучі-

льності. На відміну від методів, що використовують вигнуті хвилі, перетворювач контактує з виробом через шар контактного мастила.

Пасивні *акустичні методи* засновані на аналізі пружних коливань хвиль, що виникають в самому контрольованому об'єкті.

Найбільш характерним пасивним методом є акустико-емісійний метод (рис. 1.24, б). Явище акустичної емісії полягає в тому, що пружні хвилі випромінюються самим матеріалом в результаті внутрішньої динамічної локальної перебудови його структури. Такі явища, як виникнення і розвиток тріщин під впливом зовнішнього навантаження, аллотропічні перетворення при нагріванні чи охолодженні, рух скупчень дислокацій, - найбільш характерні джерела акустичної емісії. Контактують з виробом п'єзоперетворювачі приймають пружні хвилі і дозволяють встановити місце їх джерела (дефекту).

Пасивними акустичними методами є вібраційно-діагностичний і шумодіагностичний. При першому аналізують параметри вібрацій як окремої деталі або вузла (ротора, підшипників, лопатки турбіни) за допомогою приймачів контактного типу, при другому вивчають спектр шумів працюючого механізму, звичайно за допомогою мікрофонних приймачів.