

1. Ермолов И. Н. Ультразвуковые преобразователи для неразрушающего контроля.- М.: Машиностроение, 1986.- 280 с. 2. Аронов Б. С. Электромеханические преобразователи из пьезоэлектрической керамики. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1990.- 269 с. 3. Yoonkee Kim. Force-Frequency effects of langasite isomorphs for precision resonators., U.S. Army Communications-Electronics Command, Research Development & Engineering Center for Monmouth, New Jersey, 07703, 2003. 4. J. A. Kusters, M. C. Fisher and J. G. Leach. Dual mode operation of temperature and stress compensated crystals., in Proc. 32<sup>nd</sup> AFCS, pp. 389-397, 1978. 5. H. F. Tiersten. Perturbation theory for linear electrostatic equation for small field superposed on a bias., J. Acoust. Soc. Arner., vol. 64, no. 3, pp. 382-387, 1978. 6. H. W. Jackson, "Tactical Miniature Crystal Oscillator," Proc. 34th Ann. Symp. on Frequency Control, pp.449-456, May 1980.

7. P. T. Landsberg, "On the Logarithmic Rate Law in Chemisorption and Oxidation," The J. of Chem. Physics, Vol. 23, pp. 1079-1087, 1955. 8. R. Abermann, "Measurements of the Intrinsic Stress in Thin Metal Films," Vacuum, Vol. 41, pp. 1279-1290, 1990. 9. J. R. Lloyd and S. Nakahara, "Low Temperature Void Growth and Resistivity Decay in Thin Evaporated Gold Films," Thin Solid Films, Vol. 45, pp. 411-420, 1977. 10. J. G. Gualtieri, "The Influence of Temperature and Electric Field on the Etch-Channel Density in Swept-Cultured Quartz," Proc. 39th Ann. Symp. on Frequency Control, pp. 247-254, 1985. 11. S. Galliou and M. Mourey, "Temperature Processing of an Ultra Stable Quartz Oscillator", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 48, pp. 1539-1546, 2001. 12. B. A. Auld, Acoustic Fields and Waves in Solids, Vol. 1. New York: John Wiley & Sons, Ins., 1973.

УДК 620.179.1+620.179.142+622.24.053

## НОВІ ПІДХОДИ ДО КОНТРОЛЮ НАСОСНО-КОМПРЕСОРНИХ ТРУБ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ МЕТОДОМ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ

© Молодецький І.А., Качан М.Б., Вісков О.В., 2005  
Науково-виробнича фірма „Зонд”, м. Івано-Франківськ

**Розглянуто безконтактний метод виявлення дефектів в НКТ за допомогою магнітних полів розсіювання з використанням високочутливих магніторезистивних перетворювачів. На основі проведених експериментальних досліджень визначено чутливість контролю, отримані характеристики сигналів від дефектів різної орієнтації.**

Розвиток сучасного нафтогазовидобутку неможливий без підвищення вимог до експлуатаційної надійності та якісних характеристик використовуваного внутрішньо-свердловинного обладнання. Своєчасне виявлення потенційно небезпечних елементів трубних колон, в тому числі насосно-компресорних труб (НКТ), дозволяє попередити аварійні ситуації і, відповідно, виключити витрати, пов'язані з ліквідацією аварій. Крім того, об'єктивна оцінка якісного стану дозволяє прогнозувати ресурс працездатності об'єкту і таким чином суттєво продовжити термін його експлуатації. Адже значні збитки при аваріях призводять до того, що часто цілком працездатне обладнання вилучається з експлуатації з метою попередження відмов.

У даній статті основну увагу було зосереджено на вирішенні питання експрес-контролю тіла труби електромагнітним методом. Особливість електромагнітного контролю полягає в тому, що його можна

проводити без контакту перетворювача з об'єктом, їх взаємодія відбувається зазвичай на відстанях (від часток міліметра до кількох міліметрів), достатніх для вільного пересування перетворювача відносно об'єкта. Тому цими методами можна одержувати позитивні результати контролю навіть при високих швидкостях контролю об'єктів, що, в свою чергу, збільшує продуктивність контролю.

Отримання первинної інформації у вигляді електричних сигналів, безконтактність і висока продуктивність визначають широкі можливості автоматизації електромагнітних методів контролю. Одна з позитивних особливостей цих методів полягає в тому, що на сигнали перетворювача практично не впливають вологість, тиск і забруднення газового середовища, радіоактивні випромінювання, забруднення поверхні об'єкту контролю непровідними речовинами.

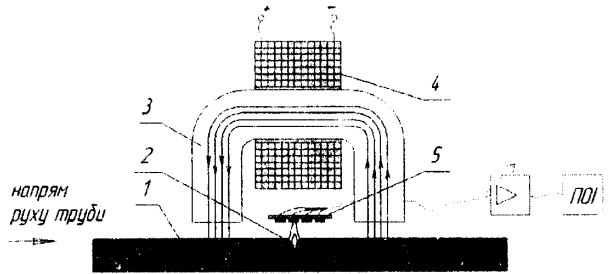
При проведенні експериментальних досліджень

Останнім часом цей різновид електромагнітного контролю з використанням методу постійного або змінного магнітного поля знаходить все більше використання в техніці дефектоскопії. Основна його перевага – можливість контролю більш глибоких підповерхневих шарів виробу в порівнянні з іншими електромагнітними методами.

Фізична суть виявлення дефектів даним методом полягає у наступному [1]. В магнітне поле намагнічуючої котушки поміщують феромагнітний виріб (наприклад, тіло НКТ, рис. 1). Лінії магнітної індукції в тілі труби (в межах довжини намагнічуючої котушки та її околі) практично паралельні одна одній, тому результуюче поле є однорідним. Якщо намагнічена зовнішнім магнітним полем деталь не має порушень суцільності (тріщин, раковин, волосовин, розшарувань, зазубрин і т.д.), то в ідеальному випадку лінії магнітної індукції не виходять з виробу або монотонно змінюються. Порушення суцільності феромагнітних виробів приводить до утворення над місцем дефектів локальних магнітостатичних полів розсіювання, величина яких, у першому наближенні, відповідає розмірам дефектів.

Основна проблема застосування методу полягає в тому, що магнітні потоки розсіювання можуть викликатися не тільки дефектами металу, але і змінами його структури та деяких фізичних властивостей. Всі ці перешкоджаючі фактори порушують однорідність магнітного поля по довжині деталі, утворюють свої поля розсіювання, які в свою чергу утворюють в запису реєстрації ряд додаткових піків. Амплітуда цих піків часто співрозмірна з амплітудою імпульсів від дефекту. Дані обставини вимагали проведення подальших досліджень і конструктивних розробок та підбору перетворювачів і апаратури, що дозволило підвищити їх чутливість до виявлення дефектів порушення суцільності.

В умовах НВФ „Зонд” авторами були проведені експериментальні дослідження чутливості магніторезистивних перетворювачів. Дія датчика ґрунтується на використанні гігантського магніторезистивного ефекту, відкритого у 1988 р. Перші перетворювачі такого типу з'явилися у 1994 р. Дані магніторезистивні перетворювачі є градієнтними, володіють високою чутливістю до зміни магнітного поля і виконані в корпусах інтегральних мікросхем розміром 5x6 мм. Вони містять чотири резистори, що включені за мостовою схемою. Два з цих резисторів піддаються дії зовнішнього магнітного поля [2,3].



- |                         |                                     |
|-------------------------|-------------------------------------|
| 1 – поверхня тіла труби | 4 – котушка намагнічування          |
| 2 – поперечний дефект   | 5 – магніторезистивні перетворювачі |
| 3 – магнітопровід       | ПОІ – пристрій обробки інформації   |

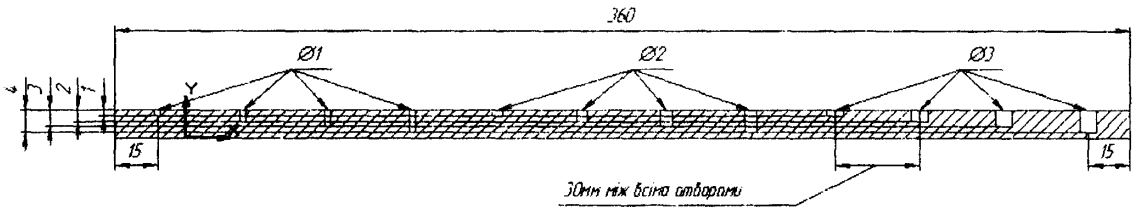
Рис. 1. Схема виявлення дефектів методом реєстрації магнітних полів розсіювання за допомогою магніторезистивних перетворювачів

Метою проведення експериментальних досліджень було визначення чутливості методу магнітних полів розсіювання. Дослідження проводилися на зразках із спеціально створеними зовнішніми та внутрішніми штучними дефектами різної орієнтації та глибиною залягання.

Використовувались 6 зразків, виготовлених з тіла труби НКТ  $\varnothing$  73 мм (рис. 2, рис. 3). Зразки 1 і 2 мали дефекти у вигляді отворів діаметром 1 мм, 2 мм, 3 мм та глибиною 1, 2, 3, 4 мм (кожен діаметр). На зразку 3 були нанесені дефекти типу “риски” глибиною 0,5 мм, 1 мм, 1,5 мм, 2 мм, 3 мм поперечної орієнтації та орієнтовані під  $45^\circ$  до осі труби, на зразку 4 – такі ж дефекти поперечної орієнтації, на зразках 5 і 6 – дефекти глибиною 0,5 мм, 1 мм, 1,5 мм, 2 мм, 3 мм поздовжньої орієнтації. Зразки 1, 3 та 5 мали дефекти на зовнішній поверхні, зразки 2, 4 та 6 – на внутрішній.

Для створення однорідного магнітного поля в зоні контролю намагнічування проводилося постійним струмом 1,0 А за допомогою котушки з П-подібним осердям та полюсними наконечниками з магнітом’якої сталі, внутрішній діаметр яких відповідав зовнішньому діаметру контрольованої труби. Чутливі елементи (лінійка з чотирьох градієнтних магніторезистивних перетворювачів) були орієнтовані вздовж осі труби і розмішені між полюсами сердечника на відстані 2 мм від поверхні труби. Необхідна відстань забезпечувалась за допомогою капролонового протектора, що прилягає до труби. Реєстрування зміни магнітного поля відбувалося вздовж осі труби, так як чутливість перетворювачів є чітко спрямована і максимальна вздовж осі перетворювача

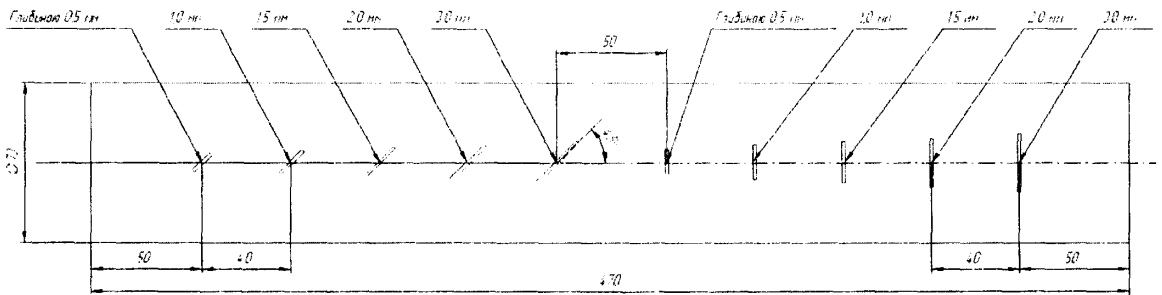
Зразок 1. Зовнішні дефекти у вигляді отворів



Зразок 2. Внутрішні дефекти у вигляді отворів



Рис. 2. Дефекти у вигляді отворів



Зразок 4. Подовжні дефекти

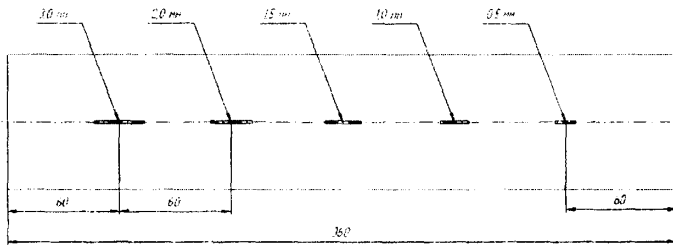


Рис. 3. Зовнішні та внутрішні дефекти типу риски

Реєстрування зміни магнітного поля відбувалося вздовж осі труби, так як чутливість перетворювачів є чітко спрямована і максимальна вздовж осі перетворювача

Методика досліджень полягала в скануванні труби вздовж осі. Інформативним параметром тут слугував градієнт магнітного поля від дефектів, який сприймався перетворювачем і після попереднього підсилення реєструвався на цифровому осцилографі.

Миттєві знімки осцилограм різних дефектів при найбільш чіткому сигналі наведені на рис. 4 та рис. 5.

У ході досліджень спостерігалось наступне:

- 1) із збільшенням розміру дефектів і глибини
  - 2) сигнали від зовнішніх дефектів є чіткими.
- залягання збільшувався рівень сигналу;

Спостерігаються два піки сигналу. Найбільш чітко це виражено для дефектів поздовжньої орієнтації;

3) сигнали від внутрішніх дефектів дуже зашумлені. Найбільш чіткими сигналами при контролі внутрішньої поверхні є сигнали від дефектів поперечної орієнтації, де спостерігається зменшення амплітуди сигналу із зменшенням глибини дефекту.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що методом магнітних полів розсіювання можна виявляти різноманітні та різноорієнтовані дефекти на зовнішній поверхні тіла труби, а на внутрішній поверхні тіла труби найкраще виявляються дефекти типу риска поперечної орієнтації.

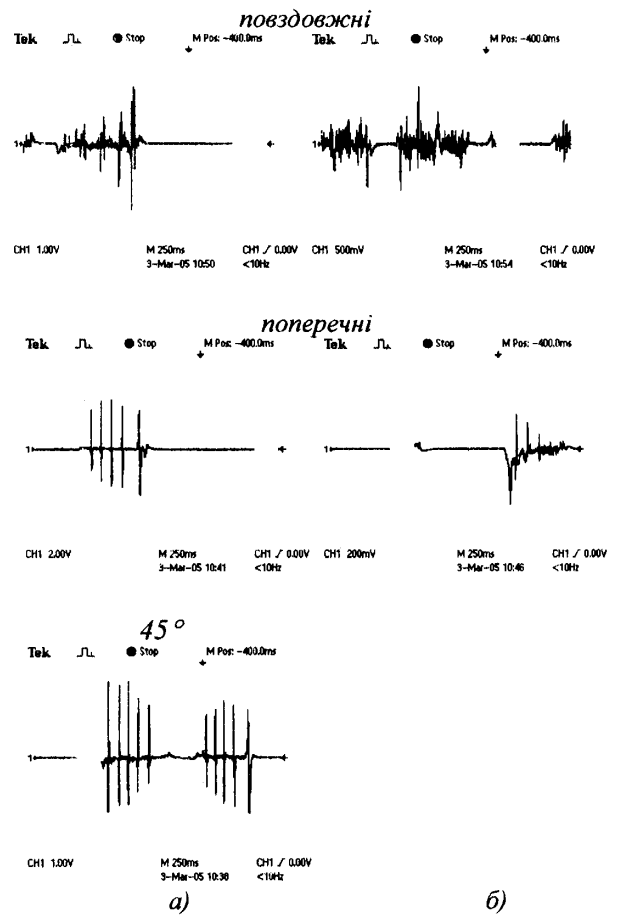
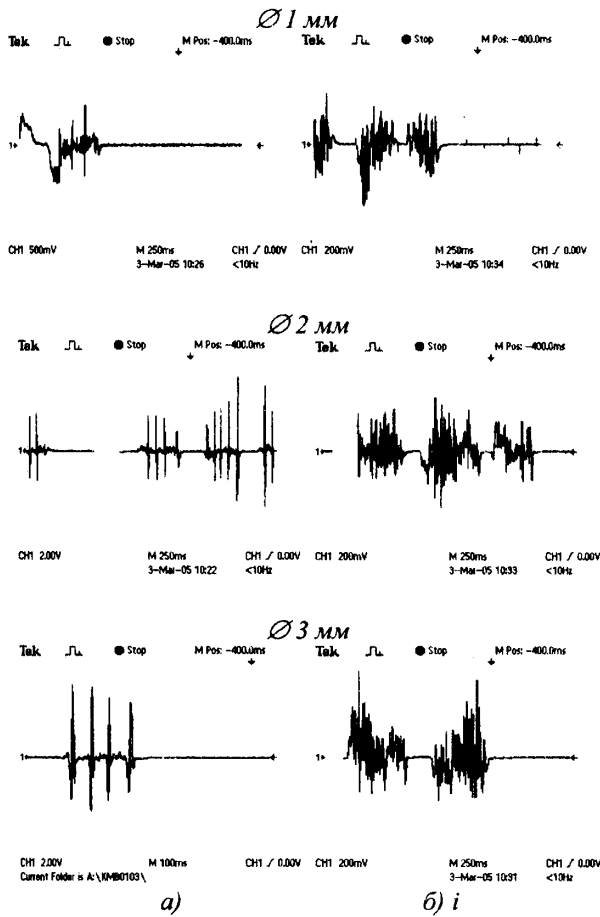


Рис. 4. Зовнішні (а) та внутрішні (б) дефекти типу отворів

Рис. 5. Зовнішні (а) та внутрішні (б) дефекти типу риски

Чутливість перетворювачів та рівень сигналу є досить високим, що дозволяє проводити подальшу його обробку.

Проведені дослідження показали, що магніто-резистивні перетворювачі (завдяки високій чутливості до зміни магнітного поля) можуть з успіхом використовуватися замість традиційних перетворювачів (наприклад, ферозондів) або датчиків Холла.

1. Окрушко Е. И., Ураксеев М. А. Дефектоскопия глубиннонасосных штанг. М., Недра, 1983, 112 с. 2. А. Yashan, R. Becker, A. Klein. Detection of small inclusions in thin steel sheets by magnetic flux leakage technique. 3. А. Яшан, Р. Бекер, Г. Добманн, В. Тайнер. Пример применения магниторезистивных (GMR) датчиков для электромагнитных методов неразрушающего контроля.