

розміру деталей. Провівши лінійну апроксимацію, отримаємо аналітичну залежність величини узгоджувального коефіцієнта від діаметра деталі

$$k_T = 1,245 + 0,000368d. \quad (3)$$

Провівши порівняння значень узгоджувального експериментального  $k_E$  та теоретичного  $k_T$  коефіцієнтів можна зробити висновок, що розбіжність значень цих коефіцієнтів, встановлених експериментально та розрахованих теоретично за формулою (3), менше 1% (табл. 2).

Після підстановки рівняння (3) в рівняння (2) отримаємо залежність

$$\Delta - 0,068475 + 0,0034255 \cdot d + 0,000001012 \cdot d^2, \quad (4)$$

яка дає можливість визначити величину приросту будь-якого розміру деталей, вилитих з перлітного чавуну, модифікованого церієм, після обробки в камерних печах. При цьому розкид приросту розмірів виробів згідно з дослідженнями

не перевищує 0,07%, що при врахуванні мінімусових допусків не виходить за межі розрахункових допусків і дає змогу спростити технологію виготовлення виробів, виключивши трудомістку операцію шліфування після термообробки (або іншу механічну обробку) і тим самим знизити вартість виробу.

### Література

1. Насосы погружные центробежные модульные ЭЦНМ и ЭЦНМК. ТУ 26-06-1485-87. – М.: Миннефтепром, 1987. – 100 с.
2. Богданов А.А. Погружные центробежные электронасосы для добычи нефти (расчет и конструкция). – М.: Недра, 1968. – 272 с.
3. Филиппов В.Н. Надежность установок погружных центробежных насосов для добычи нефти. – М., 1983. – 70 с. – (Насосоостроение: Обзор информ / ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ; сер. ХМ-4).
4. Жермен П. Курс механики сплошных сред. – М.: Высшая школа, 1983. – 399 с.

УДК 620.179

## ЗНОСОСТІЙКИЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТО-АКУСТИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ НЕПЕРЕРВНОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ ТРУБ НАФТОВОГО СОРТАМЕНТУ

О.В.Вісков

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 44672  
e-mail: public@ifdtung.if.ua

*Описано конструкцію износостойчивого электромагнито-акустического преобразователя для толщинометрии различных изделий, в частности – труб нефтяного сортамента. Приведены результаты его испытаний.*

*Is described a design of the new wear-proof EMA-transducer for thickness measuring of different items, in particular – oil and gas pipes. The outcomes of its tests are adduced.*

Загальновідомо, що питанню неруйнівного контролю труб нафтового сортаменту останнім часом приділяється особлива увага. Одним з головних завдань, вирішення якого сприяє суттєвому зменшенню аварійності, є своєчасне виявлення й вилучення з колони бурильних труб елементів з критичними пошкодженнями. Особливо актуальним і перспективним є питання діагностики труб безпосередньо в умовах бурової під час спуско-підймальних операцій. Але, на жаль, на сучасному етапі при дефектоскопії труб в польових умовах служби дефектоскопії проводять лише діагностику різьбових ділянок і не контролюють тіло, чого явно недостатньо для впевненої й безпечної експлуатації труб.

Проведення повної діагностики труб в польових умовах шляхом поздовжнього сканування групою перетворювачів на сучасному етапі неможливе, оскільки ультразвукові перетворювачі з п'єзопластинами, які зазвичай вико-

ристовуються, потребують створення й постійного підтримання акустичного контакту між призмою перетворювача та поверхнею труби. Через те, що п'єзоперетворювач повинен рухатись з високою швидкістю по поверхні труби, яка здебільшого має сліди значної корозії, підтримка надійного акустичного контакту утруднена, а, отже, і достовірність контролю невисока. Якщо ж враховувати і той фактор, що для створення акустичного контакту найчастіше використовується так звана локальна ванна, заповнена технічною водою, то неважко зрозуміти, що в холодну пору року діагностика труб в польових умовах з використанням таких технологій неможлива. Крім того, ультразвукові п'єзоперетворювачі, призми яких виготовлені з оргскла або подібних матеріалів, внаслідок тертя об поверхню труби швидко зношуються й суттєво змінюють свої параметри.

Для проведення 100% діагностики труб під час спуско-підймальних операцій необхідно

розробити низку ультразвукових перетворювачів, що можуть працювати в „сухому” контакті з поверхнею об’єкта контролю та мають високу зносостійкість робочої поверхні при достатній чутливості самого перетворювача.

В даній статті приводяться результати розробки одного з таких перетворювачів – ультразвукового перетворювача для неперервної товщинометрії.

В „сухому” контакті з поверхнею об’єкта контролю можуть працювати так звані електромагнітно-акустичні перетворювачі (ЕМАП). ЕМА-перетворювачам на відміну від звичайного перетворювача з використанням п’єзопластин не потрібне проміжне акустичне середовище між власною поверхнею та поверхнею об’єкта контролю, а, отже, стабільність акустичного контакту у них значно вища.

„Класичний” ЕМА-перетворювач для проведення товщинометрії являє собою потужний постійний магніт, розташований над поверхнею об’єкта контролю, та високочастотну котушку, виконану у формі „метелика”, з відкритою центральною частиною та екранованою периферією. Такий перетворювач збуджує горизонтально поляризовану зсувну хвилю з напрямом розповсюдження по нормалі до поверхні об’єкта контролю. Але така особливість конструкції класичного ЕМА-перетворювача має серйозний недолік – чутливий елемент, котушка, може бути легко пошкоджена при контролі об’єктів з поверхнями, що мають значну шорсткість або високий ступінь корозії. Саме на подолання цього недоліку й були спрямовані дослідження, що проводились автором в умовах інституту неруйнівного контролю (Institut Zerstörungsfreie Prüfverfahren – IZFP) Німецького Фраунгоферовського Товариства (FhG), розташованого в м. Саарбрюкен (ФРН). Результатом цих досліджень стала конструкція зносостійкого нормального ЕМА-перетворювача горизонтально поляризованої зсувної хвилі (SH). Схематично конструкцію перетворювача зображено на рис. 1.

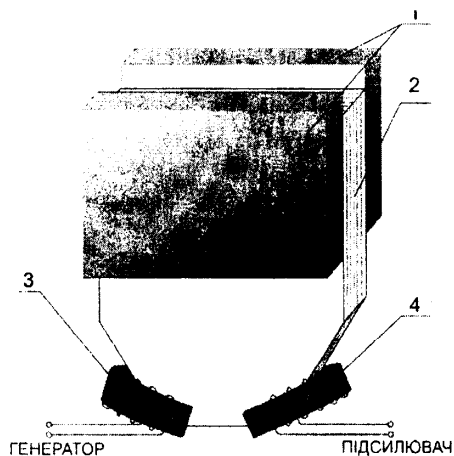
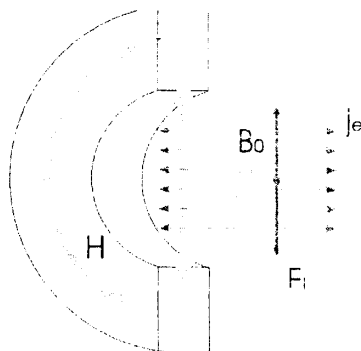


Рисунок 1 – Конструкція перетворювача

Перетворювач складається з концентратора магнітного поля (2), у верхній частині якого розташовано два постійних магніти (1), орієн-

тованих однойменними полюсами до концентратора. В нижній частині розміщені два незамкнутих осердя з котушками. Одне з них використовується для генерування ультразвукової хвилі, а друге – для її прийому. Осердя виконано на основі осердя VITROVAC-6025Z™ (Vacuumschmelze®) з видаленою третиною. Відкритими полюсами осердя опираються на поверхню об’єкта контролю, охоплюючи при цьому нижню частину концентратора. Осердя розташовані під кутом до поверхні контрольованого об’єкта, що захищає котушки від механічного пошкодження.

Розподіл полів та сил, що виникають при роботі такого перетворювача, зображено на рис. 2.



$H$  – змінний магнітний потік в осерді;  
 $B_0$  – вектор індукції постійного магнітного поля;  
 $j_e$  – вихрові струми в підповерхневому шарі об’єкта контролю;  
 $F_1$  – напрям дії сили Лоренца (напрямок поляризації зсувної хвилі)

Рисунок 2 – Розподіл полів та сил в режимі генерування УЗ хвилі

Котушка, намотана на генераторному осерді та підключена до генератора високочастотних коливань, створює змінний магнітний потік, величина якого пропорційна амплітуді струму в котушці та кількості її витків, а частота – частоті задаючого генератора коливань. Змінний магнітний потік, що створюється в осерді з відкритими полюсами, замикається через матеріал об’єкта контролю. При цьому в підповерхневому шарі контрольованого виробу виникають вихрові струми, направлені перпендикулярно до напрямку поширення змінного магнітного потоку. Під дією прикладеного зовні сильного постійного магнітного поля електрони під дією сили Лоренца змінюють траєкторію свого руху й призводять (через колізії електрон-йон) до механічних зсувів речовини в напрямі, перпендикулярному до ліній вихрових струмів й паралельному до напрямку змінного магнітного потоку, генеруючи акустичну хвилю з частотою, відповідною частоті генератора. Ультразвукові коливання розповсюджуються при цьому в напрямі по нормалі до поверхні об’єкта контролю. Процес прийому УЗ коливань, в принципі, аналогічний процесу їх генерування й здійснюється котушкою на другому осерді.

В умовах IZFP було виготовлено дослідний екземпляр перетворювача. Генераторна котушка була спроектована для роботи по струму (низький імпеданс). Форма імпульсу струму зображена на рис. 3. Амплітуда струму в котушці становить 56А („пік-пік”), робоча частота – 2 МГц.

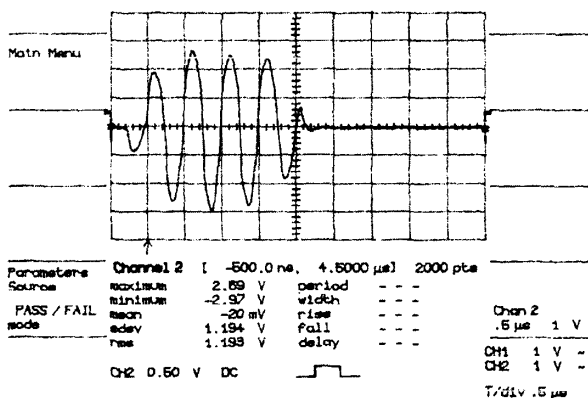


Рисунок 3 – Форма імпульсу струму в генераторній котушці

На рис. 4 поданий результат роботи перетворювача на сталевій плиті, товщиною 15 мм.

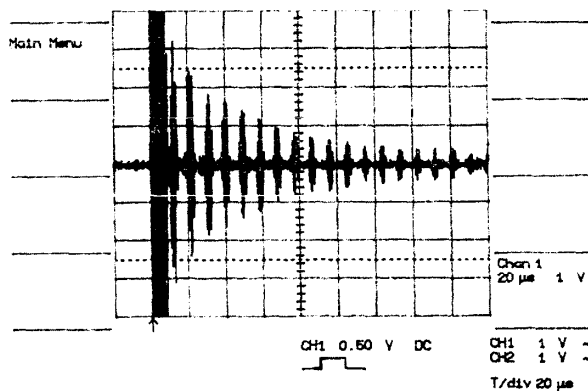


Рисунок 4 – Робота перетворювача на сталевій плиті товщиною 15 мм

Додатково були проведені перевірки можливості роботи перетворювача для пошуку дефектів. Для цього було виготовлено сталевий зразок за ескізом, зображеним на рис. 5.

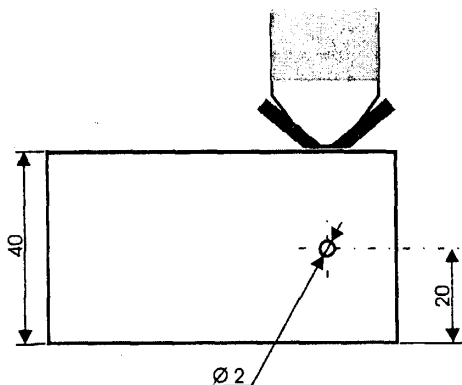


Рисунок 5 – Зразок зі штучним дефектом

Результати перевірки роботи перетворювача в режимі виявлення дефектів наведено на рис. 6.

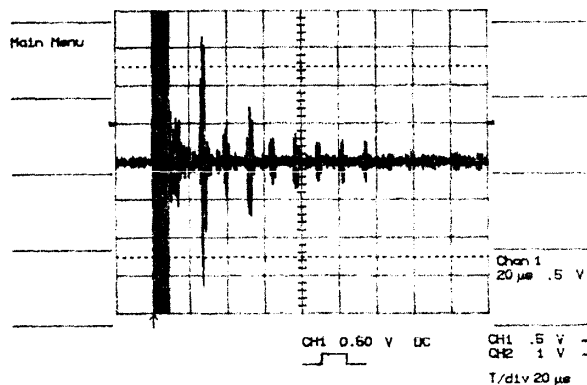


Рисунок 6 – Робота перетворювача на зразку з дефектом

Як видно з наведеної на рис. 6 осцилограми, перетворювач надійно виявляє двоміліметровий поздовжній отвір на глибини 20 мм. Співвідношення „сигнал-шум” при цьому становить приблизно 15 dB.

Таким чином, було розроблено зносостійкий ЕМА-перетворювач для генерування та прийому горизонтально поляризованих зсувних ультразвукових коливань в напрямі по нормалі до поверхні об’єкта контролю. Даний перетворювач може бути з успіхом застосований для проведення неперервної товщинометрії труб нафтового сортаменту в польових умовах безпосередньо під час виконання спуско-підіймальних операцій. Слід також зауважити, що для підвищення співвідношення „сигнал-шум” при роботі в режимі пошуку дефектів можна застосувати фазомодульовані імпульсно-кодові послідовності, що мають автокореляційні властивості (наприклад, код Баркера).

**Література**

1. William J. Pardee, R.B. Thompson Half-Space Radiation by EMAT's of Non-Destructive Evaluation; Rockwell International Science Center, submit papers for Journal of Nondestructive Evaluation; G.O. No 595
2. R.E. Beissner Electromagnetic-Acoustic Transducers. A Survey of the State of the Art. NTIAC-76-1
3. Кириков А.В. Методы и средства ультразвукового контроля проката с применением электромагнитно-акустических преобразователей // В мире неразрушающего контроля. – 1999. – № 3. – С. 18-20