

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Шевченко В.В., Олінійчук А.І., Вакуленко В.С., Шалоумов Є.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

В статті був проведений аналіз особливостей та принципів проектування електромагнітно-акустичних (ЕМА) перетворювачів для неруйнівного контролю металевих виробів. Представлені теоретичні розрахунки ряду параметрів перетворювача, а саме магнітної системи та акустичного тиску. Було проведено ряд експериментів, в яких знімалися показники з перетворювачів та встановлювалася за часою та спектральною характеристикою оптимальна модель, рекомендована до роботи та виведені середні показники з наявних.

Ключові слова: ЕМА, перетворювач, акустичний тиск, токопроводи, неруйнівний контроль, ультразвук.

Вступ. Проблема контролю деталей, механізмів та виробів стає все гострішою в промислових галузях. І це не дивно, а цілком закономірно, оскільки деталі сучасних механізмів та обладнання стають більш складними і коштовними, а наслідками їх руйнування можуть стати людські жертви та величезні збитки. Враховуючи це, все більшої популярності набуває неруйнівний контроль із застосуванням ультразвуку.

Постановка проблеми. В багатьох роботах [1-3] повідомляється про принципіальній можливості створення електромагнітно-акустичних перетворювачів (ЕМАП), випромінюючих ультразвукові (УЗ) коливання. Однак в літературі немає конкретних рекомендацій, які дозволяють конструювати перетворювачі, придатні для використання в дефектоскопії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ЕМАП мають ряд особливостей. Насамперед конструкція ЕМАП набагато складніша від п'єзоелектричних перетворювачів. Якщо робота ПЕП визначається п'ятьма-сімома конструктивними параметрами, то ЕМАП залежить вже від тридцяти і більше У зв'язку з цим створення найкращих конструктивних рішень ЕМАП викликає суттєві труднощі. А якщо взяти до уваги, що досить повної теорії, за допомогою якої можна було б оптимізувати всі їх характеристики, не існує до теперішнього часу навіть для ПЕП, то це тим більше відноситься до теоретичного апарату ЕМАП. З іншого боку, і експериментальне дослідження ЕМАП не дає всієї повноти необхідних для цього відомостей. Справді, дослідне вивчення будь-якого явища ефективно тільки тоді, коли змінюється один з його параметрів, а всі інші при цьому залишаються колишніми. Для ЕМАП такий стан досягається з великими труднощами. А тому нині існуючі і часто непогано працюють ЕМАП зобов'язані своїм виникненням в більшій мірі таланту і досвіду розробляють їх дослідників, ніж теорії або накопиченим досвідченим даними.

Питання по безконтактному вводу і прийому зсувних ультразвукових коливань в металевих середовищах досліджений в ряді робіт. В [1-3] проведені експериментальні результати застосування ЕМАП. Теоретичні результати опубліковані в роботах [4, 5]. У [4] розглянуто перетворювач, для якого розрахована електродинамічна сила, збуджуюча ультразвукові коливання в металевому середовищі. Питання прийомі коливань

вирішене без урахування поширення ультразвукових хвиль в середовищі. У [5] висвітлено питання про математичне моделювання акустичних полів збуджених ЕМА методом.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що дана тема потребує більш конкретних викладок та рекомендацій для створення перетворювачів, з боку конструкторської практики.

Постановка задачі. Метою даної статті є аналіз та надання конкретних рекомендацій стосовно розрахунку магнітної системи та акустичного тиску в ЕМА перетворювачах систем неруйнівного контролю.

Виклад основного матеріалу досліджень. Розрахунок магнітної системи. Для реалізації гребінчастого методу збудження необхідне використання ґрати n – ниток, розташованих паралельно один одному уздовж поверхні об'єкта контролю, на однаковому від її відстані. Зовнішнє магнітне поле створюється за допомогою електромагніта. Для більш простих моделей можна використовувати постійний магніт, або ж навіть взагалі його не використовувати, а створити додаткову систему з ґрат, котра буде створювати магнітне поле, але це дуже небажана конструкція, оскільки потужність та точність такого датчик будуть незначними.

При ЕМА збудженні системою синфазних випромінювачів крок (відстань між нитками-випромінювачами), буде дорівнювати [7, 9, 11]:

$$l = \lambda \quad (1)$$

При порушенні систем протифазних випромінювачів [7, 9, 11]:

$$l = \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

де

$$\lambda = \frac{c_c}{f} \quad (3)$$

λ – довжина нормальної хвилі у відповідній робочій точці; c_c – фазова швидкість УЗ хвилі; f – робоча частота УЗ випромінювання.

Для подальших розрахунків, необхідне знання основних характеристик середовища контролю й параметрів ЕМАП. Це питання може розглядатися виходячи з конкретного завдання застосування ЕМА перетворювача (наприклад: аркуші сталі конкретної товщини, труби заданого діаметра й т.д.).

Від кількості ниток-випромінювачів і їхньої довжини залежить розмір результуючого пучка випромінювання.

Для подальшого розрахунку обирається контрольована довжина m , для наочності візьмемо приклад, це буде сталевая залізнична рейка.

ДЕРЖСТАНДАРТ 8161-75 регламентує розміри залізничних рейок і допуски при їхньому виготовленні. Рис. 1 [5, 10].

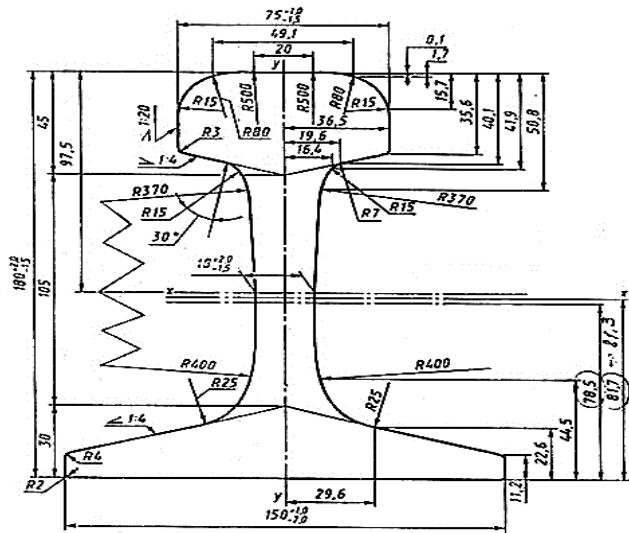


Рис. 1. Креслення поперечного перерізу рейки за ДСТ 8161-75

Таким чином, ширина головки рейки $75^{+1.0}_{-1.5}$ мм. Найбільший інтерес представляє порушення коливань на поверхні активної частини рейки, ширина якої становить $m = 49,1$ мм.

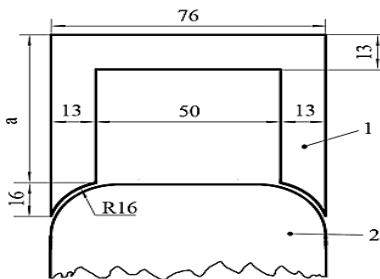


Рис. 2. Установка магнітопроводу ЕМАП при контролі рейки
1 – магнітопровід; 2 – рейка

Таким чином, ґрати, що складаються з ниток-випромінювачів повинна розміщатися уздовж рейки на ширину його активної частини.

Очевидно, що відстань між випромінювачами l , на відрізку довжиною m , можуть бути розміжені n ниток-випромінювачів [9]:

$$n = \text{trunc}\left(\frac{m}{l}\right) \quad (5)$$

Оператор trunc вказує округлення результату розрахунку з откиданням дробової частини (кількість ниток у ґратах не може бути дробовою).

Для практичної реалізації ЕМА датчика, пропонується використовувати рівносторонні ґрати, тобто, довжина ниток повинна бути дорівнює ширині пакета з n ниток, тобто [9]:

$$l_n = l * (n - 1) \quad (6)$$

Тому що обрано схему побудови із синфазним підключенням ниток, всі нитки можуть бути включені паралельно.

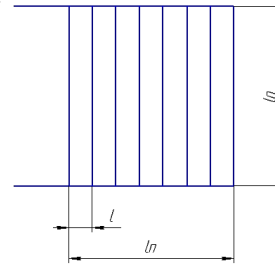


Рис. 3. Схематичне зображення конструкції ґрати випромінювачів

Розрахунок акустичного тиску.

Оцінимо акустичний тиск, виникаючий в поверхневому шарі металу в результаті ЕМА перетворень. Skorистаємося виразом для поверхневої густини току, індукційованого в металевому напівпросторі, паралельно поверхні якого розташовані ґрати випромінювачів, рис. 4.

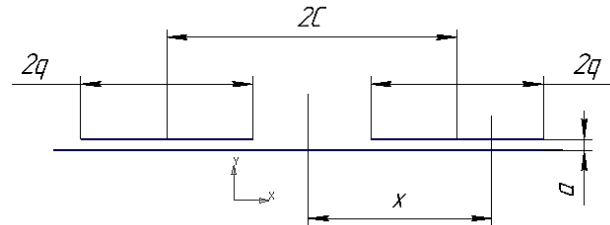


Рис. 4. Розподіл акустичного тиску який генерується в металі магнітопроводом

Поверхнева густина струму в металі виражається [5]:

$$I_x = \frac{I_i}{2g} * \frac{1}{\pi} \left\{ \arctg \frac{2 \frac{g}{a}}{1 + \left[\frac{(x-c)}{a} \right]^2 - \left(\frac{g}{a} \right)^2} - \arctg \frac{2 \frac{g}{a}}{1 + \left[\frac{(x+c)}{a} \right]^2 - \left(\frac{g}{a} \right)^2} \right\}, \quad (7)$$

де I_i – повний ток в петлі; g, c, a – геометричні розміри; x – координата в напрямку ширини петлі.

Позначивши вираз у фігурних скобках, помножити на $1/\pi$, через L , запишемо [5, 7]:

$$I_x = \frac{I_i}{2g} L \quad (8)$$

Якщо петля (в нашому випадку магнітопровід індуктивності) має число ґрат n , а ток в кожному витку I , то загальний струм в петлі [5,7]:

$$I_i = In \quad (9)$$

Виникаюча в результаті пондермоторної взаємодії акустичний тиск в поверхні шару матеріалу [5, 7]:

$$p = I_x B \quad (10)$$

де B – індукція магнітного поля в металі. Враховуючи, що $B = \mu_0 \mu H$ і що в системі СІ напруженість магнітного поля чисельно дорівнює поверхні густини струму, можна записати [6]:

$$p = \mu_0 \mu \frac{(I\omega)^2}{4g^2} L^2 \quad (11)$$

де $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$ гн/м; μ – відносна магнітна проникність металу.

Максимальний акустичний тиск, збуджуваний перетворювачем p .

Під час досліджень, рис. 5 була встановлена оптимальна часова та спектральна характерис-

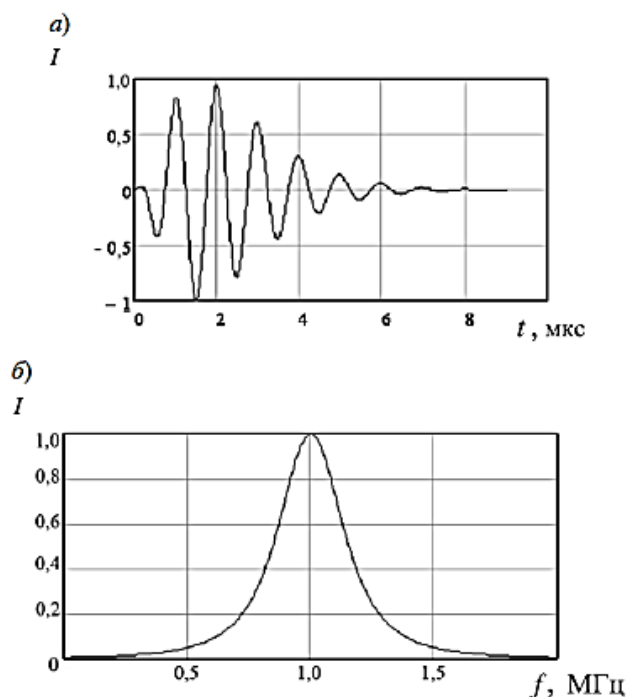


Рис. 5. Часова (а) та спектральна (б) характеристики сигналів рекомендованих для роботи ЕМАП

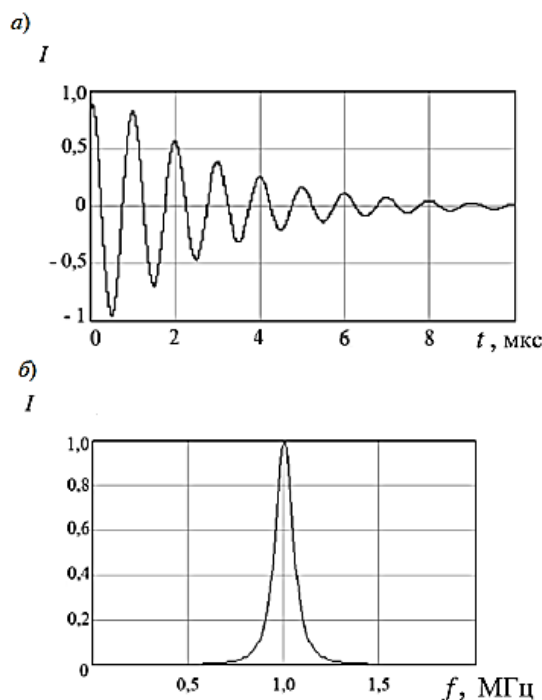


Рис. 6. Часова (а) та спектральна (б) характеристики сигналів яка найчастіше зустрічається в роботі ЕМАП

тика, яка рекомендована для роботи ЕМАП, наведена для прикладу на частоті $f_0 = 1$ МГц [8].

Та встановлена рис. 6 та яка найчастіше зустрічається в перетворювачах (вибірку склали 17 екземплярів) [10, 12].

Висновки та перспективи. В результаті після проведення досліджень можна відмітити, що наявний теоретичний апарат з точністю достатньою для практичного застосування, може бути використаний для проектування надійних ЕМАП.

Перспективи розвитку ЕМАП. Дані перетворювачі особливо ефективні при експрес-контролі таких протяжних об'єктів, як трубопроводи, пластини, різноманітна тара й рельси. Про те, без застосування ЕМАП провести такий контроль в повному обсязі й з достатньою надійністю навряд чи можливо. Але ця задача не є простою, без ентузіастів, розповсюдження тематичної літератури, підтримки з боку держави чи бізнесу, теоретичних та практичних досліджень, випробувань її неможливо розв'язати належним чином.

Список літератури:

1. Буденков Б.А., Буденков Г.А., Глухов Н.А. и Бенько А.М., Дефектоскопия, 1969 № 1, 121.
2. Шкарлет Ю.М., Сазонов Ю.И., Стефаров В.И., Локшина Н.Н. Электромагнитные методы контроля. – М., МДНТП, 1969, 21.
3. Pohlman R., Herbertz I. Vortrage D55, 5 Congres international D'Acoustique, Liege, 7-14 September, 1965.
4. Локшина Н.Н., Сазонов Ю.И., Шкарлет Ю.М. Тр. Всесоюзной межвузовской конференции по вопросам ультразвуковой спектроскопии. – Каунас, изд. КПИ, 1969, 50.
5. Применение электромагнитно-акустических преобразователей для контроля железнодорожных рельс / Г.С. Тымчик, А.А. Подолян // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» серія приладобудування. – Київ: Вид-во НТУУ «КПІ», 2013 – Вип. 46 – С. 46-55.
6. Формирование магнитного поля с заданными характеристиками в ЭМА преобразователях систем неразрушающего контроля промышленного оборудования / А.А. Подолян // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ: Вид-во Ів.-Франківського нац. техн. ун-ту нафти і газу, 2006 – Вип. 17. – С. 18-21.
7. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др; Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
8. Остафев В.А., Тымчик Г.С., Шевченко В.В., Механизация автоматизация управления, Киев, 1983.
9. Формирование импульсов специальной формы для электромагнитных акустических преобразователей / Г.С. Тымчик, А.А. Подолян // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» серія приладобудування. – Київ: Вид-во НТУУ «КПІ», 2013 – Вип. 45 – С. 64-69.
10. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. М., изд. «Высшая школа», 1968.
11. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики, Новосибирск, изд. «Наука», СО АН СССР, 1967.
12. Цапенко В.К. Основы ультразвукового неруїнівного контролю: Підручник. Куц. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 448 с.
13. Скороход А.А., Симута Н.А., Шевченко В.В., Система автоматической настройки ГПС, Современные научные исследования инновации 5, 2014.
14. Шарбура С.Н., Шевченко В.В., Система адаптивного управления процессом обработки деталей на станках с ЧПУ, Современные научные исследования инновации 6, 2015.
15. Филон М.Ю., Шевченко В.В. Многопараметрическая система контроля процессов резанья, Современные научные исследования инновации 5, 2014.

Шевченко В.В., Олинийчук А.И., Вакуленко В.С., Шалоумов Е.В.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Аннотация

В статье описан анализ особенностей и принципов проектирования электромагнитно-акустических (ЭМА) преобразователей для неразрушающего контроля металлических изделий. Представлены теоретические расчеты ряда параметров преобразователя, а именно магнитной системы и акустического давления. Был проведен ряд экспериментов, в которых снимались показатели с преобразователей и устанавливалась по часовой и спектральной характеристикой оптимальная модель, рекомендуемая к работе, а также выведены средние показатели из имеющихся преобразователей.

Ключевые слова: ЭМА, преобразователь, акустическое давление, токопроводы, неразрушающий контроль, ультразвук.

Shevchenko V.V., Olinychuk A.I., Vakulenko V.S., Shaloumov Y.V.

National Technical University of Ukraine
«Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky»

CALCULATING ELECTROMAGNETIC-ACOUSTIC TRANSDUCER FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING

Summary

The aim of the article is to analyze the characteristics and principles of designing electromagnetic-acoustic (EAC) converters for non-destructive control of metal products. Represented theoretical calculations of a number of the inverter parameters, namely, the magnetic system and the acoustic pressure. There were a number of the experiment, which were filmed performance of transformers and installed by temporal and spectral characteristics of the optimal model recommended for work and the average output available.

Keywords: EAC, converters, acoustic pressure, conductors, non-destructive control, ultrasound.