

УДК 537.8

Авраменко Богдан Володимирович

магістрант кафедри приладів та систем неруйнівного контролю

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РОЗРОБКА ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Анотація. Розглянуто застосування методів математичного моделювання при проектуванні вихрострумів перетворювачів.

Ключові слова: вихрострумівий контроль, Comsol Multiphysics, метод скінченних елементів.

Вихрострумівий неруйнівний контроль заснований на аналізі взаємодії електромагнітного поля вихрострумів перетворювача з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться в об'єкті контролю. Його застосовують для контролю об'єктів з електропровідних матеріалів. Вихрові струми збуджуються в об'єкті перетворювачем у вигляді індуктивної котушки, що живиться змінним або імпульсним струмом. Прийомним перетворювачем (вимірником) служить та ж або інша котушка. Збудливу і вимірювальну котушки розташовують або з одного боку, або по різні сторони від об'єкта контролю. Інтенсивність і розподіл вихрових струмів в об'єкті залежать від його розмірів, електричних і магнітних властивостей матеріалу, від наявності в матеріалі порушень суцільності, взаємного розташування перетворювача й об'єкта контролю.

При проектуванні вихрострумівих перетворювачів математичні моделі створюються для передбачення сигналів вихрострумів перетворювача як від дефектів, так і від заважаючих чинників.

Застосування моделювання дозволяє спрогнозувати сигнал для великої кількості варіантів дефектів і заважаючих чинників, які створити для проведення експерименту або занадто довго і дорого, або неможливо. Іншими словами за допомогою моделювання вирішується зворотна задача неруйнівного контролю.

Комп'ютерні трьох вимірні моделі для попередньої оцінки були побудовані в пакеті проектування Solidworks

Для порівняння було створено 2 моделі однакового діаметра, але різного форм фактору. Перша рис.1 циліндрична багатошарова котушка з діаметром намотки 25 мм та висотою 20 мм. Проектувалася в якості котушки збудження трансформаторного перетворювача. Друга, плоска котушка для багатопараметрового контролю має теж діаметр 25 мм та такий же діаметр провідника 0.1 мм



Рис. 1. Циліндрична котушка

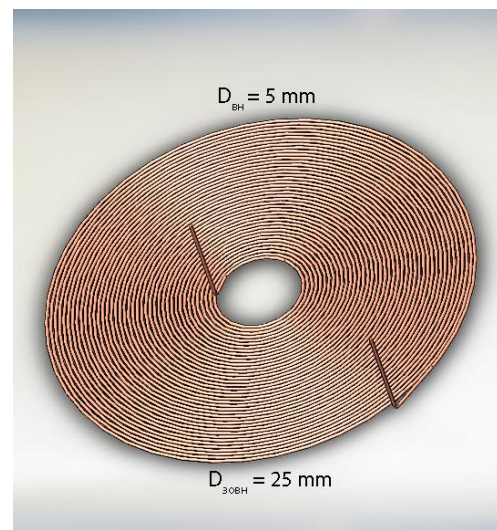


Рис. 2. Плоска котушка

Комп'ютерне моделювання процесу вихрострумowego контролю виконується у програмному пакеті *ComsolMultiphysics*. Дане програмне забезпечення використовує метод кінцевих елементів (МКЕ) для моделювання електромагнітних полів.

МКЕ сьогодні придбав найбільш широке застосування для розрахунку полів його поширеність викликана здатністю застосування і

для випадків, коли необхідно провести розрахунки полів об'ємного заряду, розрахунок потенціалу і (або) напруженості в будь-якій точці криволінійних просторів, беручи до уваги не лінійності їх границь, практично будь-якої складності, а так само, в порівнянні з іншими методами, швидкістю розрахунком значень параметрів напруженість і потенціал у всіх точках простору. В МКЕ гранична задача сформулюється в інтегральній формі. Залежно від типу завдання, тобто її розмірності область розбивається на плоскі (двовірні задачі) або об'ємні елементи (тривимірні області рішення). В даних елементах апроксимація поширення поля проводиться при використанні поліномів. Основними кроками вирішення завдання стають етапи створення систем лінійних алгебраїчних рівнянь, що мають досить високий порядок, і їх подальше рішення. Саме необхідність побудови складних сіток з великим числом вузлів перешкоджає застосуванню методу при розрахунку полів областей з криволінійними межами. Саме гнучкість є основною перевагою МКЕ, оскільки він дозволяє враховувати вплив криволінійних границь. Недоліком МКЕ слід вважати, перш за все, трудомісткість розрахунку сітки елементів (вимогливий до потужності ЕОМ), оскільки вона створюється у всьому об'ємі (області).

Незважаючи, що COMSOL Multiphysics містить у собі ядро Parasolid і дозволяє імпортувати моделі з різноманітних CAD програм. Рекомендовано будувати моделі у внутрішньому редакторі задля зменшення навантаження на ЕОМ. Для опису раніше побудованих моделей була взята модель побудови багатовиткової котушки над асиметричною провідниковою пластиною [1].

Задача представляє собою оцінку характеристик системи відносно відтворених магнітних полів та вихрових струмів індукованих при розміщенні котушки збудження перетворювача в якій протікає

синусоїдальний струм, над асиметричною моделлю з провідного матеріалу.

Перша модель циліндричної котушки збудження була спроектована у внутрішньому редакторі Comsol Multiphysics, та прорахована за допомогою вбудованої функції Coil Geometry Analysis [2]. Об'єктом контролю являється алюмінієва пластина в якій наявний дефект у вигляді наскрізної продольної прорізи. Задля полегшення розрахунку дрібна сітка була встановлена тільки для об'єкту контролю.

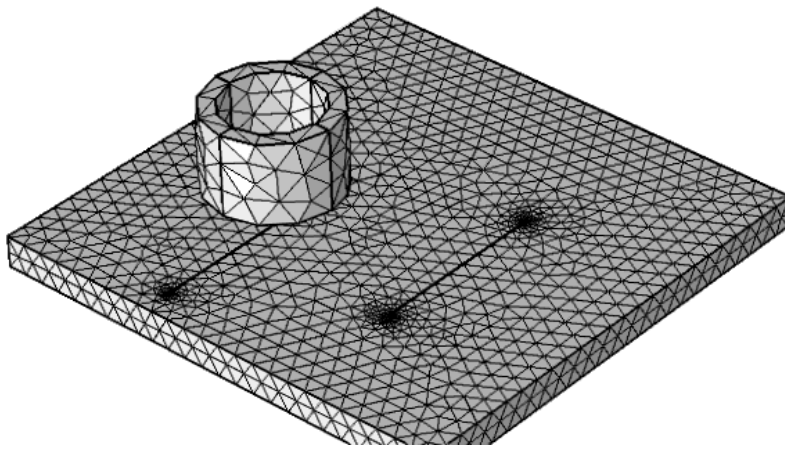


Рис. 3. Модель циліндричної котушки збудження над алюмінієвою пластиною з дефектами

В результаті було отримано трьохвимірну візуалізацію густини розподілу вихрових струмів в об'єкті контролю та побудовано порівняльні графіки для частот збуджуючого сигналу в 1 КГц та 100 КГц щільності вихрових струмів та магнітного потоку для циліндричної котушки та для плоскої. На графіках чітко виділяється зміни як щільності вихрових струмів так і магнітного потоку в зоні дефекту, що знаходиться по координаті $x = 100$ та має ширину розкриву 0.5 мм

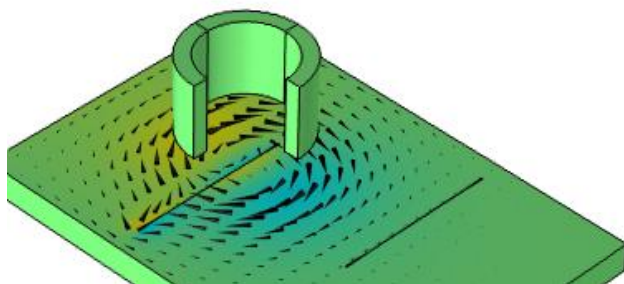


Рис. 4. Густина розподілу вихрових струмів в ОК при використанні циліндричної багатовиткової котушки

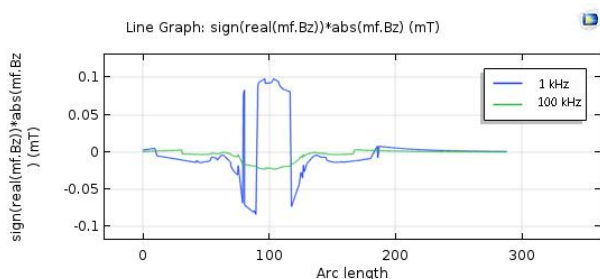


Рис. 5. Зміна густини магнітного потоку вздовж ОК

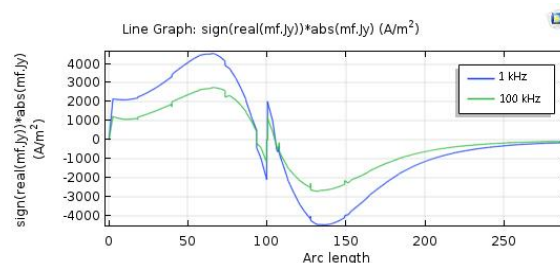


Рис. 6. Зміна густини вихрових струмів вздовж ОК

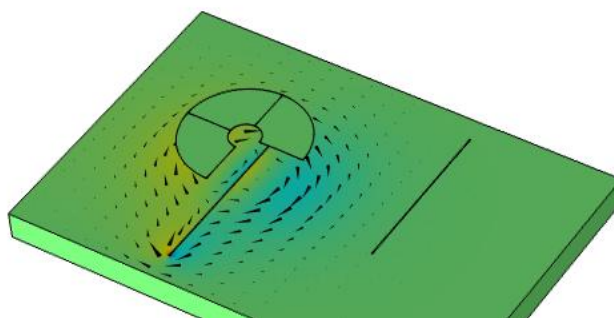


Рис. 7. Густина розподілу вихрових струмів в ОК при використанні плоскої котушки

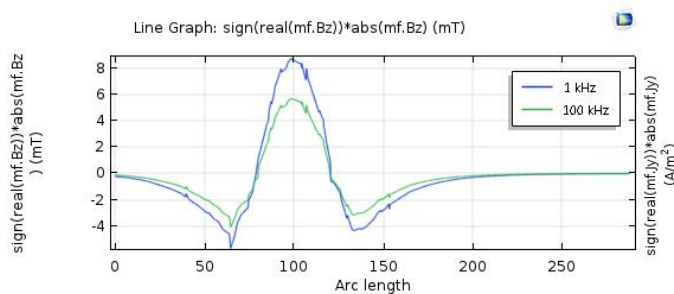


Рис. 8. Зміна густини магнітного потоку вздовж ОК

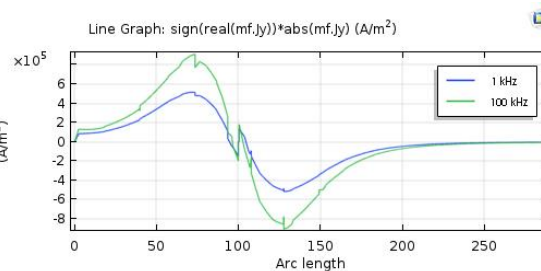


Рис. 9. Зміна густини вихрових струмів вздовж ОК

Дане модулювання дозволяє оцінити параметри сигналів вихрострумowego контролю при проектуванні вихрострумowych перетворювачів в залежності від різних дефектів та характеристик матеріалів.

Література

1. Multi-Turn Coil Above an Asymmetric Conductor Plate [Електронний ресурс] / COMSOL Multiphysics – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.com/model/multi-turn-coil-above-an-asymmetric-conductor-plate-13777>.
2. Multi-Turn Coil Winding around a Ferromagnet [Електронний ресурс] / COMSOL Multiphysics – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.com/model/multi-turn-coil-winding-around-a-ferromagnet-23641>.