

УДК 539.3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У МЕТАЛІЗОВАНІЙ ФЕРИТОВІЙ ПЛАСТИНІ ЗА ДІЇ ОБ'ЄМНИХ МАГНІТОСТАТИЧНИХ ХВИЛЬ

Роман Івасько, Аніда Станік-Беслер, Наталія Івасько

*Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я.С. Підстригача НАН України,
Політехніка Опольська (Польща)*

roman_ivasko@ukr.net, a.stanik-besler@po.edu.pl, natalya_ivasko@ukr.net

Мініатюризація електротехнічних пристроїв, які працюють у діапазоні надвисоких частот (НВЧ), неможлива без використання довгохвильових когерентних (з постійною різницею фаз) дипольних спінових хвиль (т.зв. магнітостатичних хвиль (МСХ)) у намагнічених феритових плівках за наявності постійного та гармонічного в часі магнітних полів. За континуального підходу їх розглядають як хвилі прецесії вектора спонтанної намагніченості. Ці хвилі генерують і вловлюють вузькими металевими провідниками (антенами), розташованими на поверхні відповідної плівки. Тип генерованої хвилі визначається напрямом постійного магнітного поля: у дотично намагнічених плівках поширюються поверхневі МСХ, а у нормально намагнічених – об'ємні [1].

У літературі досить ґрунтовно проаналізовано умови генерування та поширення МСХ у феритових елементах електротехнічних пристроїв, але практично не розглянуто теплові та механічні процеси, які при цьому відбуваються. У більшості з цих праць не досліджено умови часткового поглинання мікрохвильової енергії матеріалом, яке призводить до його нагрівання, а також виникнення механічних напружень, спричинених як нагріванням, так і силовими чинниками дії поля.

У роботі визначено та досліджено параметри фізико-механічних процесів, які відбуваються в металізованій намагніченій феритовій пластині за дії нормального постійного і дотичного гармонічного магнітних полів. Електромагнітне поле розглядаємо як зовнішню дію, яка проявляється в матеріальному середовищі через енергетичні (дисипація енергії або тепловиділення) та силові чинники (пондеромоторні сили і моменти сил). У такому наближенні визначення температурних полів і напружень у тілі зведено до послідовного розв'язання відповідної задачі електродинаміки (перший етап) та квазістатичної задачі термопружності (другий етап) за заданих початкових і крайових умов.

В силу малої фазової швидкості МСХ описуються рівняннями магнітостатики та рівнянням руху (гіромагнітних коливань) вектора намагніченості (рівнянням Гільберта) за відповідних магнітостатичних крайових умов. Використовуючи при розв'язанні нелінійних рівнянь магнітостатики метод подання шуканих величин за малим параметром [2] (за обмеження двома членами розкладу), отримано вирази для напруженості, намагніченості та індукції магнітного поля. Визначено інтервал частот (т.зв. граничних частот пропускання (запирання)), за яких у пластині виникають і поширюються об'ємні МСХ. У межах смуги пропускання проаналізовано частотні залежності хвильових чисел, амплітуд гармонік намагніченості та індукції магнітного поля, температури, нормальних і дотичних напружень, а також розподіли температури та напружень за товщинною координатою.

Виявлено, що амплітуди намагніченості та індукції магнітного поля практично збігаються. Показано, що нормальними напруженнями σ_{zz} можна знехтувати порівняно з напруженнями σ_{xx} . Зазначено, що об'ємні МСХ призводять до появи компоненти π_{xy} антисиметричного тензора натягів Максвелла (значення якої нехтовно мале порівняно з напруженнями σ_{zz}).

Отримано, що амплітуди намагніченості та індукції магнітного поля, а також температура та механічні напруження досягають максимальних значень на першій частоті запирання (граничній частоті пропускання). Визначено критичне значення напруженості гармонічного магнітного поля, за якого температура досягає точки Кюрі (матеріал втрачає феромагнітні властивості), наслідком чого стає неможливість поширення об'ємних МСХ.

1. *Hachkevych O.R., Solodyak M.T., Terlets'kyi R.F. and Ivas'ko R.O.* Three-Dimensional Magnetostatic Waves Caused by Electromagnetic Fields in Metallized Ferrite Plates // *Mat. Sci.* – 2019. – Vol. 55, No. 3. – P. 327-336.
2. *Hachkevych O.R., Solodyak M.T., Terlets'kyi R.F. and Tarlakovskii D.V.* Electrodynamical Relations, Energy and Force Factors of the Actions of Electromagnetic Fields for Magnetic Media // *Mat. Sci.* – 2015. – Vol. 50, No. 4. – P. 545-554.

MATHEMATICAL MODELLING OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROCESSES IN A METALLIZED FERRITE PLATE SUBJECTED TO BULK MAGNETOSTATIC WAVES

Using a well-known technique for finding the characteristics of the magnetic field, based on the method of decomposing unknown quantities in a series into small parameters (chosen as the ratio of the amplitude of the tangential harmonic field to the amplitude of the normal constant field) and restricting ourselves to the first two terms of the decomposition, the conditions of excitation and the regularities of propagation of three-dimensional magnetostatic waves in a metallized normally magnetized ferrite plate, depending on the character of the external electromagnetic field and the electrophysical characteristics of the material, have been determined and studied.