

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ШАРІ ЗА ДІЇ СТРУМІВ, ПЕРІОДИЧНИХ ВІДНОСНО ПОЗДОВЖНЬОЇ КООРДИНАТИ

Роман Івасько¹, Аніда Станік-Беслер², Наталія Івасько³

¹Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, м. Львів, roman_ivasko@ukr.net,

²Політехніка Опольська, м. Опольце, a.stanik-besler@po.edu.pl,

³Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, natalia.ivasko@lnu.edu.ua

Вплив електромагнітного поля (ЕМП) на тіло зазвичай супроводжується появою в ньому температурного поля, деформацій і напружень. Ці чинники істотно впливають як на параметри окремих технологічних процесів у виробках, так і на умови їх експлуатації. Тому для адекватного опису фізико-механічних процесів у тілах за дії ЕМП треба враховувати (в рамках відповідних моделей) взаємозв'язок електромагнітних, теплових і механічних процесів.

У роботах [2, 3] побудовано математичну модель для кількісного опису та методика дослідження термонапруженого стану феритових тіл, спричиненого дією слабких зовнішніх квазіусталених ЕМП високої несучої частоти. Вони ґрунтуються на загальній теорії взаємодії ЕМП з матеріальним континуумом (що може бути одночасно намагніченим і поляризованим у певних ділянках частотного спектру ЕМП), в якій вплив електромагнітного випромінювання враховується через тепловиділення і пондеромоторні сили.

У даній роботі для оцінки впливу важливого технологічного чинника нерівномірності розподілу зовнішнього електричного струму на параметри низькотемпературного нагрівання плоских феритових елементів з урахуванням напруженого стану (міцнісних характеристик) розглянуто модельну задачу про визначення та дослідження термомеханічної поведінки феритового шару за дії квазіусталеного ЕМП, створюваного струмом, що протікає у струмовідній площині, густина якого має синусоїдальний характер зміни за поздовжньою координатою. Відповідно до результатів, отриманих в [2, 3] для залежності процесу нагрівання від частоти зовнішньої електромагнітної дії, прийнято, що кругова несуча частота ЕМП лежить поза околами резонансних (коли термонапружений стан має практично квазістатичний характер). При цьому розрахункова схема складається з 3-х етапів послідовного визначення параметрів, які описують електромагнітне, температурне і механічні поля [1].

Досліджено розподіли напруженостей полів, тепловиділень, пондеромоторних сил і температури в шарі залежно від його товщини, амплітудно-частотних характеристик зовнішнього ЕМП і частоти синусоїдальної зміни густини індукційного струму.

Аналіз отриманих результатів дозволив зробити висновки про вплив періодичності розподілу за координатою зовнішнього електричного струму на термонапружений стан феритового шару, основними з яких є: 1) гармонічний

характер розподілу за координатою густини електричного струму суттєво впливає на значення пондеромоторних сил і температури в шарі i , як наслідок, на його термонапружений стан. Зокрема, такий розподіл може спричинити значне підвищення температури в локальних за поперечною координатою підобластях шару більш, ніж на порядок порівняно з рівномірним; 2) значення частоти синусоїдальної зміни густини струму, за якого в локальних підобластях відбуваються найбільші прирости пондеромоторної сили і температури, зростає зі збільшенням частоти зовнішнього ЕМП.

Можливість знехтування динамічними ефектами для всіх частот ЕМП, окрім резонансних, разом із наявністю дуже вузьких околів резонансних частот дозволяє ефективно керувати (при застосуванні частот, розташованих поза околами резонансних) термічною обробкою феритових виробів за допомогою зовнішніх ЕМП, використовуючи важливий технологічний фактор нерівномірності розподілу зовнішнього електричного струму. У цьому випадку частота ЕМП забезпечує стабільність (монотонність) процесів нагрівання та деформування.

1. *Hachkevych O., Ivas'ko R., Ivas'ko N., Torskyi A.* Thermally stressed state of the layer under the influence of currents periodic with respect to the longitudinal coordinate // *Mathematical Modeling and Computing.* – 2024. – **11**, No. 2. – Pp. 394–403.
2. *Hachkevych O., Ivas'ko R., Kushnir R., Stanik-Besler A.* Selected aspects of thermo-mechanics of ferrite bodies under electromagnetic actions // *Selected problems of solid mechanics and solving methods* / Ed. by: *H. Altenbach, V. Bogdanov, A.Y. Grigorenko, R.M. Kushnir, V.M. Nazarenko, V.A. Eremeyev* / *Advanced Structured Materials*, vol. 204. – Chapter 16. – Springer, Cham., 2024. – Pp. 221–232.
3. *Hachkevych O., Ivas'ko R., Stanik-Besler A.* Selected mathematical problems of thermomechanics of ferrite solids [in Russian]. – Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics NAS of Ukraine, 2022. – 212 p.

MATHEMATICAL MODELLING OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROCESSES OCCURRING IN A LAYER SUBJECTED TO CURRENTS PERIODIC WITH RESPECT TO THE LONGITUDINAL COORDINATE

To evaluate the impact of the important non-uniformity technological factor of the external electric current distribution on the low-temperature heating parameters of flat ferrite elements, taking into account the stressed state (strength characteristics), a model problem is considered to determine and study the thermomechanical behavior of the ferrite layer under the influence of a quasi-steady electromagnetic field created by the current flowing in the current-carrying plane, the density of which changes sinusoidally along the longitudinal coordinate. In accordance with the earlier results regarding the dependence of the heating process on the frequency of external electromagnetic influence, it is accepted that the circular carrier frequency of the electromagnetic field is outside the vicinity of the resonant ones (when the thermally stressed state has an almost quasi-static character). In this case, the calculation scheme consists of three stages for sequentially determining the parameters that describe the electromagnetic, temperature, and mechanical fields.