

ПРОГНОЗУВАННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ БІМЕТАЛЕВИХ ПЛАСТИН ЗА ЇХ ІНДУКЦІЙНОЇ ТЕРМООБРОБКИ

Олександр Гачкевич¹, Роман Мусій², Наталія Мельник³

¹Інститут прикладних проблем механіки та математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, м. Львів, dept13@iapmm.lviv.ua
^{2,3}Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, ²roman.s.musii@lpnu.ua, ³natalia.b.melnyk@lpnu.ua

Біметалеві пластини (БП) є функціональними елементами багатьох пристроїв, що використовуються у електроенергетичній, машинобудівній та аерокосмічній галузях. При технологічній обробці БП, як правило, використовують індукційний нагрів (ІН).

Термомеханічну поведінку електропровідних елементів за ІН усталеним електромагнітним полем (ЕМП) достатньо вивчено і розглянуто, зокрема, в роботах [2, 4]. У сучасних технологічних процесах індукційної термообробки часто використовують також неусталені ЕМП (НЕМП). За такої дії у БП виникають нестационарні поля температури та напружень. За певних величин і градієнтів цих полів у кожному n -му ($n=1,2$) складовому шарі БП виникають інтенсивності напружень $\sigma_i^{(n)}$, значення яких можуть досягати межі пружної деформації $\sigma_d^{(n)}$ матеріалів складових шарів БП і, навіть, перевищувати її. Значення інтенсивності напружень у кожному шарі у площині їх контакту можуть перевищувати межу міцності σ_M з'єднання цих шарів. За умови $\sigma_i^{(n)} \geq \sigma_d^{(n)}$ БП втрачають роботоздатність як конструктивні елементи, а за умови $\sigma_i^{(n)*} \geq \sigma_M$ - втрачають властивості механічного контактного з'єднання шарів [3]. Тому дослідження роботоздатності БП при індукційному нагріві НЕМП є актуальною науковою та інженерно-технічною проблемою.

Розглянемо БП, віднесено до декартової системи координат $OXYZ$, площина XOY якої збігається з площиною $z=0$ з'єднання її складових шарів. БП обмежена основами $z=-h_1$ і $z=h_2$, які перебувають за умов конвективного теплообміну з довкіллям та вільні від поверхневого силового навантаження. Тут h_1 , h_2 - товщини складових шарів БП, а їх матеріали однорідні, ізотропні і неферромагнітні. Фізико-механічні характеристики матеріалів є сталими і рівними їх середнім значенням в розглядуваному діапазоні зміни температури. У площині $z=0$ БП виконуються умови ідеального електромагнітного, теплового і механічного контактів [3]. БП підлягає індукційній термообробці НЕМП, яке задається значеннями

дотичної до основ БП компоненти $H_y^{(n)}(z, t)$ вектора напруженості магнітного поля, які описуються виразами [1]

$$H_y^{(1)}(-h_1, t) = H_y^{(2)}(h_2, t) = kH_0(e^{-\beta_1 t} - e^{-\beta_2 t}) \cos \omega. \quad (1)$$

Тут H_0 - амплітуда синусоїдальних несучих електромагнітних коливань частоти ω ; k - нормувальний множник; β_1 і β_2 - параметри, що відповідають часам фронтів наростання і спадання НЕМП тривалості t_i . Вираз (1) дозволяє врахувати моменти включення і виключення НЕМП при індукційному нагріві.

Відомо [1, 2], що за дії НЕМП за частот ω з поза околу резонансних частот для таких полів термонапружений стан БП в основному визначається теплом Джоуля $Q^{(n)}$, яке зумовлює температурне поле $T^{(n)}$ і компоненти $\sigma_{ij}^{(n)}$ ($j = x, y, z$) тензора напружень та відповідні їм інтенсивності напружень $\sigma_i^{(n)}$ в n -му ($n = 1, 2$) складовому шарі БП.

Знайдено вирази $T^{(n)}$, $\sigma_{ij}^{(n)}$ та $\sigma_i^{(n)}$ за індукційного нагріву БП НЕМП вигляду (1). Чисельно проаналізовано ці величини залежно від амплітудно-частотних параметрів НЕМП і часу t_i тривалості індукційного нагріву БП. На основі зазначених вище умов встановлено граничні значення параметрів НЕМП, за яких втрачаються робоздатність та властивості контактного з'єднання використовуваних в інженерній практиці БП.

1. *Гачкевич О.Р., Мусій Р.С., Тарлаковський Д.В.* Термомеханіка неферромагнітних електропровідних тіл за дії імпульсних електромагнітних полів з модуляцією амплітуди. – Львів, СПОЛЮМ, 2011. – 216 с.
2. *Подстригач Я.С., Буряк Я.И., Гачкевич А.Р., Чернявская Л.В.* Термоупругость электропроводных тел. – К.: Наук. думка, 1977. – 248 с.
3. *Musii R., Melnyk N., Dmytruk V.* Thermoelastic processes analyzer for piecewise homogeneous conductive structures subjected to pulsed electromagnetic action // Journal of Thermal Stresses. – 2018. – Vol. 41, iss. 9. – P. 1125–1135.
4. *Rudnev, V.; Loveless, D.; Cook, R.* Handbook of Induction Heating; CRC Press: London, UK; Taylor and Francis Group: Abingdon, UK, 2018.

PREDICTION OF THE PERFORMANCE OF BIMETALLIC PLATES DURING THEIR INDUCTION HEAT TREATMENT

A methodology for assessing the performance of a bimetallic plate during its induction heat treatment with a transient electromagnetic field is proposed. The critical values of amplitude-frequency parameters and the duration of induction heating, at which the bimetallic plate loses its functionality as a structural element, have been established.