

НАГРІВ ФЕРОМАГНІТНИХ ВИРОБІВ, ЩО ВИСТУПАЮТЬ ВТОРИННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ІНДУКТОРНИХ СИСТЕМ

Красовський П.О., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. В деяких технологічних операціях по обробці феромагнітних матеріалів застосовується електромеханічне обладнання для маніпулювання виробами в яких сам виріб виконує функцію вторинного елемента [1]. Розрахунок температури виробу є важливим елементом проектування систем такого роду, оскільки під час деяких технологічних операцій (наприклад нанесення покриття) може виникати необхідність не перевищувати або підтримувати певний діапазон температур.

Метою роботи є оцінка теплового стану феромагнітного об'єкту, що виступає вторинним елементом електромеханічного технологічного пристрою для забезпечення виконання умов певних технологічних операцій (наприклад нанесення покриття).

Матеріали та результати досліджень. Основою процесу індукційного є протікання в об'єкті, що нагрівається, вихрових струмів. Вихрові струми створюються в провідному тілі, поміщеному в магнітне поле, якщо хоча б частина замкнутих контурів, які можна виділити в об'ємі цього тіла, пронизується змінним в часі магнітним потоком. Миттєве значення ЕРС e , що виникає в контурі, що охоплює потік Φ .

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Під дією цієї ЕРС виникає струм i , що викликає нагрівання тіла відповідно до закону Джоуля-Ленца [2].

Глибина вихрових струмів залежить від величини збуджуючого їх магнітного потоку, частоти збудження і електромагнітних властивостей матеріалу об'єкта в який вони проникають. Для оцінки глибини вихрових струмів використовують відносну величину – умовну глибину проникнення вихрових струмів – це відстань від поверхні об'єкта контролю (де спостерігається максимальна щільність вихрових струмів) до шару в якому щільність зменшується в e раз ($e \approx 2,71$ - основа натурального логарифма):

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \mu_0 \sigma}} \quad (2)$$

де f – частота струму збудження, $\mu \mu_0$ – абсолютна магнітна проникність матеріалу, σ – питома електрична провідність матеріалу.

Умовна глибина проникнення струму не залежить від величини магнітного потоку (геометрії котушки збудження, наявності сердечника, зазору між котушкою і об'єктом і т.п.). Зі збільшенням частоти збудження глибина

проникнення вихрових струмів зменшується. Вихрові струми виштовхуються до поверхні об'єкту. Такий же ефект спостерігається при збудженні вихрових струмів в феромагнітних матеріалах (конструкційних сталях), у яких вплив магнітної проникності на глибину проникнення в багато разів більше ніж вплив питомої електричної провідності, як правило меншою ніж у міді, алюмінію і сплавів на їх основі [2].

Питома потужність нагріву визначається [3]:

$$p = \frac{4}{3} k_f^2 \frac{B_m^2 f^2 a^2}{\gamma \rho} \quad (3)$$

де k_f – коефіцієнт форми кривої магнітної індукції. Для синусоїди рівний $\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$; B_m – амплітуда магнітної індукції, Тл; a – товщина листа сталі; γ – питома густина сталі, кг/м³; ρ – питомий електричний опір сталі, Ом·м.

Сімейство кривих питомої потужності, що виділяється в сталі Ст3 товщиною 10 мм при індукції в 1 Тл та зміні температури від 0 до 100°C наведено на рисунку 1.

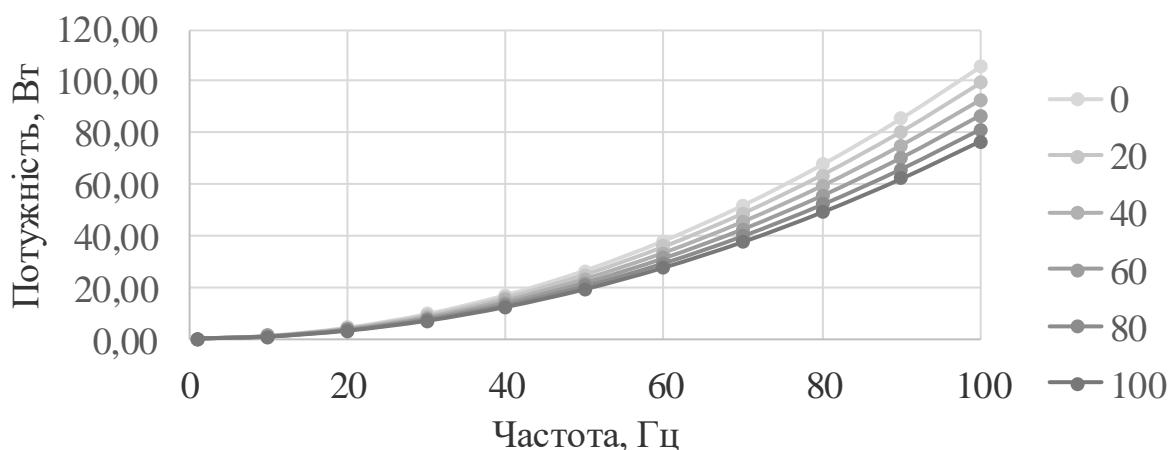


Рисунок 1 – Питома потужність, що виділяється в сталі Ст3

Розділивши питому потужність на теплоємність отримаємо температуру τ , на яку зміниться температура 1 кг феромагнітного матеріалу за одну секунду.

$$\tau = \frac{p}{c} \quad (4)$$

де c – питома теплоємність матеріалу.

Сімейство кривих зміни температури за 1 секунду в сталі Ст3 товщиною 10 мм при індукції в 1 Тл наведено на рисунку 2.

На основі даних з рисунку 2 можна розрахувати час, за який відбудеться нагрів вторинного елемента.

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{T_i - T_{i-1}}{\tau_i} \quad (5)$$

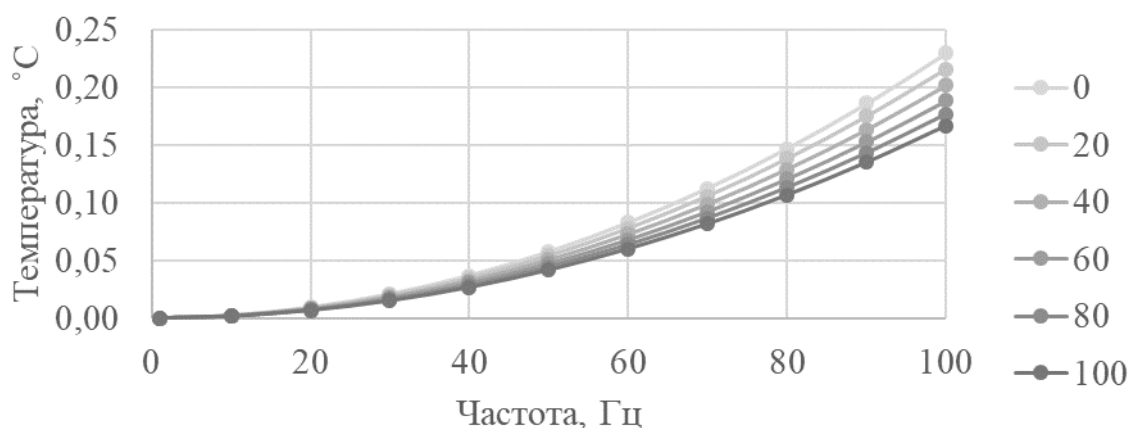


Рисунок 2 – Різниця температур за 1 секунду в сталі Ст3

В таблиці 1 наведений час нагріву сталі Ст3 різної товщини з 0 до 60°C при різній частоті та індукції 1 Тл. Наведені дані є оціночними і при розрахунку конкретних пристроїв потребують врахування теплообміну з навколишнім середовищем.

Таблиця 1 – Час нагріву сталі Ст3 з 0 до 60°C

| Товщина, мм | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|-------------|--------|-------|-------|------|------|------|
| Частота, Гц | | | | | | |
| 10 | 113603 | 28401 | 12623 | 7100 | 4544 | 3156 |
| 20 | 28401 | 7100 | 3156 | 1775 | 1136 | 789 |
| 30 | 12623 | 3156 | 1403 | 789 | 505 | 351 |
| 40 | 7100 | 1775 | 789 | 444 | 284 | 197 |
| 50 | 4544 | 1136 | 505 | 284 | 182 | 126 |
| 60 | 3156 | 789 | 351 | 197 | 126 | 88 |
| 70 | 2318 | 580 | 258 | 145 | 93 | 64 |
| 80 | 1775 | 444 | 197 | 111 | 71 | 49 |
| 90 | 1403 | 351 | 156 | 88 | 56 | 39 |
| 100 | 1136 | 284 | 126 | 71 | 45 | 32 |

Висновки. Час нагріву та розрахунок температури деталі, що виступає вторинним елементом електромеханічного технологічного пристрою є важливим параметром при розрахунках самого пристрою, оскільки тривалість технологічної операції яку може забезпечувати пристрій може бути значною (наприклад нанесення покриття). У випадку не врахування даного фактору буде необхідний додатковий час на охолодження.

Перелік посилань

1. Патент України на корисну модель №56078 27.12.2010 Електромеханічна система для транспортування труб. Чумак В.В., Гайдаєнко Ю.В., Шинкаренко В.Ф., Мірошник О.Л.
2. Elektrodynamika techniczna / Janusz Turowski. – wyd. 3 (1 w WN PWN). – Warszawa, 2014
3. Копылов И.П. (ред.). Проектирование электрических машин. Учебник. – М.: Высшая школа, 2005. – 767 с.