

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ВИМІРЮВАНЬ ТЕМПЕРАТУРИ ПЛОСКОГО  
АЛЮМІНІЄВОГО ВИРОБУ ЗА ДОПОМОГОЮ ВАРІЮВАННЯ ЧАСТОТИ  
МАГНІТНОГО ПОЛЯ**

**Себко В.В.,**

*Доктор технічних наук, професор  
Національного Технічного Університету "ХПІ"*

*Україна м. Харків*

**Бабенко В.М.,**

*Кандидат технічних наук, асистент  
Національного Технічного Університету "ХПІ"*

*Україна м. Харків*

**Люшукова А.О.,**

*Студент  
Національного Технічного Університету "ХПІ"*

*Україна м. Харків*

**Камара Фанта**

*Студент  
Національного Технічного Університету "ХПІ"*

*Україна м. Харків*

**STUDY OF METHOD OF MEASURING THE TEMPERATURE OF FLAT  
ALUMINUM PRODUCT BY VARYING THE MAGNETIC FIELD FREQUENCY**

**Sebko V.**

*Doctor of Technical Sciences, Professor  
National Technical University "HTU"*

*Kharkiv Ukraine*

**Babenko V.**

*Ph.D., assistant  
National Technical University "HTU"*

*Kharkiv Ukraine*

**Lyushukova A.**

*Student, National Technical University "HTU"*

*Kharkiv Ukraine*

**Fanta Camara**

*Student, National Technical University "HTU"*

*Kharkiv Ukraine*

**Анотація**

В роботі проведено дослідження методу вимірювання температури плоского немагнітного виробу виконаного з алюмінію, шляхом варіювання частоти магнітного поля теплового перетворювача.

**Abstract**

The paper studied the method for measuring the temperature of the flat non-magnetic products made of aluminum, by varying the frequency of the magnetic field of the thermal converter.

**Ключові слова:** термометр опору, вимірювальний контроль, контролі виробів, теплової перетворювач, змінно частотний метод.

**Keywords:** resistance thermometer, measuring control, control products, heat converter, variable frequency method.

На сьогоднішній день виробу плоскої форми займають великий обсяг продукції, що випускається промислово розвиненими країнами. Це стрічки, пластини, шини, листи і т.д. Більшість цих видів продукції використовується в енергетичному обладнанні, в приладобудуванні, в машинобудуванні, в металургії, в хімічній промисловості [1]. На сьогоднішній день виробу плоскої форми займають великий обсяг продукції, що випускається промислово розвиненими країнами. Це стрічки, пластини, шини, листи та ін. Більшість цих видів продукції використовується в енергетичному обладнанні, в приладобудуванні, в машинобудуванні, в металургії, в хімічній промисловості [1]. Всі ці деталі відповідального машинобудування при виготовленні, підлягають термічній і термохімічній обробці, таким чином, необхідно знати температуру при якій вимірюються фізико-хімічні параметри. При цьому, для визначення температури виробів можна використовувати відомі термометричні перетворювачі (термометри опору, термопари або оптичні пірометри) [2]. Всі ці пристрої не забезпечують необхідну точність при вимірюванні температури металевих виробів, і найголовніше, вони можуть вимірювати значення температури тільки на поверхні виробу. Таким чином, виникла проблема вимірювання температури середньої по перетину виробу та на її поверхні одним і тим же перетворювачем в одній і тій же зоні контролю. До теперішнього часу змінно-частотний метод був розглянутий в роботах [3, 4] для визначення питомого електричного опору  $\rho$  і радіуса  $a$  циліндричного немагнітного виробу. Але питання пов'язані зі застосуванням змінно-частотного методу при контролі виробів плоскої форми так і залишилися без уваги.

Скориставшись результатами робіт [1–6], що описують процес проникнення змінного в часі магнітного поля в плоский напів-простір, отримаємо вираз для узагальненого параметра  $x$ , що характеризує собою відношення товщини пластини  $d$  до класичної глибини проникнення  $\delta$  [1–6].

З урахуванням зазначеного вище [1–6]

$$x = \frac{d}{\delta} = d \sqrt{\pi \mu_0 \mu_r \sigma f}, \quad (1)$$

де  $\sigma$  – питома електрична провідність матеріалу пластини;  $f$  – частота зондуючого магнітного поля.

Якщо замість величини  $\sigma$  підставити зворотній параметр цієї величини – питомий електричний опір, то з (1) визначимо узагальнений параметр  $x$  у вигляді

$$x = d \sqrt{\frac{\pi \mu_0 \mu_r \sigma f}{\rho}}. \quad (2)$$

При цьому береться до уваги те, що магнітне поле з індукцією  $B$  проникає всередину пластини з обох широких граней, а процес дифузії поля з вузьких граней не враховується, оскільки досліджується тонка пластинка  $d \ll h$  [5, 6].

Вирази дають можливість використовувати нормований комплексний параметр  $K$  і його фазовий кут  $\varphi$ , однаковий з фазою магнітного потоку  $\Phi$ . У роботах [1–6], наведено залежність параметрів  $K$  і  $|\varphi|$  від величини  $x$ . Суть змінно-частотного методу вимірювання  $\rho$  і  $t$  полягає в тому, що при кожній зміні температури, а, отже і питомого електричного опору, є необхідним шляхом зміни частоти магнітного поля, підтримувати значення узагальненого параметра  $x$  постійним, тобто  $x = const$  [1, 2]. Таким чином, можна отримати залежності величин частот від значень  $t$  і  $\rho$ , тобто градувальні криві електромагнітного двохпараметрового перетворювача.

Далі будемо вважати, що при нормальній температурі  $t_i = 25$  °C, маємо  $x_1$  і частоту  $f_1$ , яка забезпечує умову  $x = x_1$ . Потім при нагріванні виробу гріючим пристроєм до будь-якої фіксованої температури, необхідно шляхом зміни частоти поля і її фіксації

при досягнутому значенні  $t$ , досягнути збереження значення узагальненого параметра  $x$  постійним, тобто  $x = x_1 = const$ . Останню умову можна контролювати за показаннями фазометра, при цьому значення фазового кута  $\varphi$  повинно відповідати значенню  $x = x_1$  [3, 4].

Якщо з урахуванням виразів (1) і (2) прирівняти  $x$  і  $x_1$ , де значення  $x$  відповідає будь-якій температурі з досліджуваного діапазону, то при незмінних значеннях  $d$ ,  $\mu_r$ ,  $\mu_0$ , отримаємо вираз для визначення частоти  $f$  для нової фіксованої температури  $t$ . При цьому з урахуванням [1], маємо

$$f = f_1 \frac{\rho}{\rho_1}, \quad (3)$$

де  $\rho$  – питомий електричний опір, відповідає будь-якій температурі  $t$  з досліджуваного діапазону.

Використовуючи функціональну залежність  $\rho$  від  $t$ , яка забезпечує лінійну залежність для більшості металів в температурному діапазоні від 0 до 180 °С [2].

$$\rho = \rho_1 + \frac{\rho_1 \alpha}{1 + \alpha t_1} (t - t_1), \quad (4)$$

де  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору матеріалу виробу.

Після нескладних перетворень, з урахуванням [3, 4], отримаємо вираз для визначення частоти  $f$  зондуючого пластину магнітного поля, у вигляді

$$f = f_1 \cdot \left[ \rho_1 + \frac{\rho_1 \alpha}{1 + \alpha t_1} (t - t_1) \right]. \quad (5)$$

Звідси випливає, що залежність  $f$  від  $t$  також має лінійний характер, що зручно для визначення температури за залежністю  $f = f(t)$ . Розрахуємо цю залежність для плоского немагнітного виробу виконаного з алюмінію, що піддається нагріву. Параметри алюмінієвої пластини [1]: температурний коефіцієнт опору  $\alpha = 4,2 \cdot 10^{-3}$  1/К; ширина  $h = 3,5$  мм; довжина  $l = 65$  мм; товщина  $d = 0,7 \cdot 10^{-3}$  м; питомий електричний опір при початковій температурі  $\rho_1 = 0,283 \cdot 10^{-7}$  Ом·м;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м; початкова температура  $t_1 = 20$  °С; фазовий кут при початковій температурі  $\varphi = 14,15$  град.

У табл. 1 представлені результати розрахунку залежності частоти  $f$  від  $\rho$  і  $t$  для алюмінієвої пластини, що нагрівається в процесі контролю.

З даних табл. 1 випливає, що вимірявши частоту  $f$  при досягненні кута  $\varphi = 14,15$  град., можна знайти значення  $\rho$  і  $t$  немагнітного плоского виробу. У таблиці  $t'$  – це температура алюмінієвої пластини виміряна контрольними методами, в даному випадку термопарою хромель-капель.

Таблиця 1.

Залежність частоти  $f$  від  $\rho$  і  $t$  для алюмінієвої пластини,  $x_1 = 0,6$ ;  $\varphi = 14,15$  град

$t, ^\circ\text{C}$	$f, \text{Гц}$	$\rho \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$t', ^\circ\text{C}$
25,02	4400	2,831	25
35,01	4600	2,901	35
44,99	4800	2,970	45
55,05	4950	3,038	55
64,97	5100	3,107	65
75,02	5300	3,177	75
85,04	5500	3,246	85
94,98	5650	3,316	95
105,08	5800	3,385	105
115,05	6050	3,455	115
124,99	6200	3,524	125
135,05	6400	3,593	135
145,02	6500	3,66	145
154,98	6800	3,73	155

Висновки: Таким чином, розглянуто змінно-частотний електромагнітний метод для одночасного контролю питомого електричного опору  $\rho$  і температури  $t$  плоского виробу.

#### Список літератури

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник / Под ред. В.В.Клюева. Кн.1 и 2. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
2. Электрические измерения / Под ред. А.В.Фремке, Е.М.Душина. – Л. : Энергия, 1980. – 392 с.
3. Себко, В.В. Электромагнитный частотный метод определения температуры изделий и сред // Тезисы докладов 1ой Украинской научно-технической конференции "Метрологическое обеспечение в области электрических, магнитных и радиотехнических измерений" Метрология в электронике, – № 94. – Харьков : – 1994. – С. 263–264.
4. Большаков, В.Б. Электромагнитный термометр с частотным выходом / В.Б. Большаков, В.В. Себко, Н.Н. Сиренко // Тезисы докладов Украинской научно-технической конференции "Метрология и измерительная техника". Метрология. – № 95. – Харьков : – 1995. – С.58.
5. Себко В.П., Кириченко Р.И. Определение пределов измерений сигналов электромагнитного преобразователя с плоским проводящим изделием // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2000. – Вип. 12. – С. 403–406.
6. Себко, В.В. Повышение точности измерений и достоверности контроля параметров ферромагнитных плоских изделий при реализации многопараметрового метода на базе теплового дифференциального устройства / В.В. Себко, В.Н. Бабенко, В.П. Себко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ", 2012, №.42. – С. 239–245.