

Д.В. Семенов, А.П. Пудовкин

СПОСОБ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ И СПЛОШНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ СЛОЕВ БИМЕТАЛЛА

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛОВ СВЯЗАНО НЕ ТОЛЬКО С СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА, НО И С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА [1, 2]. К ТАКИМ МЕТОДАМ ОТНОСИТСЯ МЕТОД ВИХРЕВЫХ ТОКОВ. ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ДАТЧИКОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ, ОСНОВАННЫХ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ВИХРЕВЫХ ТОКОВ, ДАЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЯТЬ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ.

На рисунке 1 представлена схема устройства, реализующего способ непрерывного контроля толщины и сплошности соединения слоев биметалла.

Способ осуществляется следующим образом. Биметаллическая полоса 1 и эталон 2 намагничиваются с помощью П-образных электромагнитов измерительного 3 и эталонного индукторов 4 на фиксированной частоте генератором 5 [3]. Электромагниты установлены со стороны ферромагнитных слоев биметаллической полосы и эталона. В электромагните магнитная цепь замыкается измеряемой полосой, в эталонном – эталоном. Первичные обмотки электромагнитов питаются переменным током от генератора такой частоты, когда эффективная глуби-

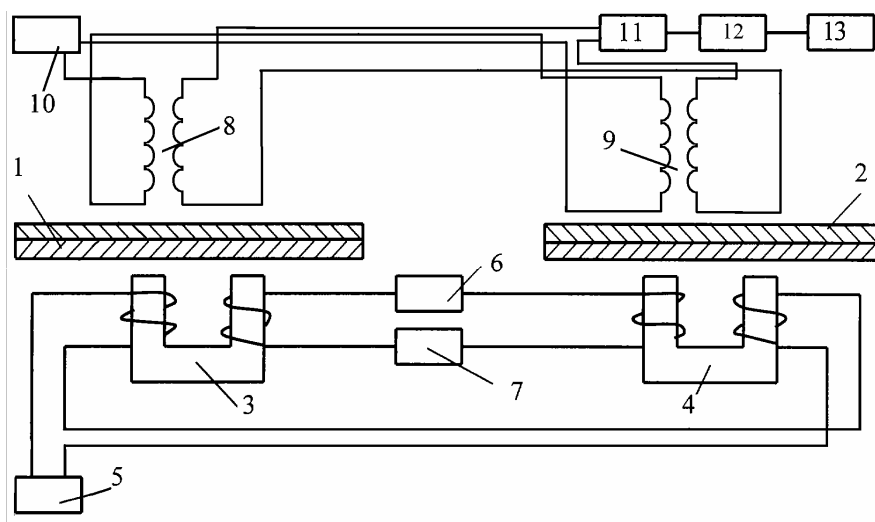


Рис. 1. Схема устройства, реализующая способ непрерывного контроля толщины и сплошности соединений слоев биметалла:

- 1 – биметаллическая полоса с ферромагнитным основанием; 2 – эталон;
 3, 4 – индукторы измерительный и эталонный; 5, 10 – генераторы;
 6 – выпрямитель; 7 – измеритель толщины; 8, 9 – двухобмоточные накладные катушки измерительная и эталонная; 11 – демодулятор; 12 – усилитель;
 13 – микропроцессорное устройство

на проникновения вихревых токов меньше, чем толщина измеряемого ферромагнитного слоя.

Во вторичных обмотках электромагнитов возникают напряжения, которые пропорциональны толщине измеряемого ферромагнитного основания биметалла и эталона. Вторичные обмотки соединены так, что их напряжения в схеме сравнения направлены навстречу одно другому.

Индуктивность электромагнитной системы равна [4]

$$L = \frac{n^2}{\sqrt{\left(\frac{I_{\text{ж}}}{\mu_{\text{ж}} S_{\text{ж}}} + \frac{I_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}} S_{\text{в}}}\right)^2 + \left(\frac{P_{\text{ж}}}{\omega \Phi^2}\right)^2}},$$

где n – число витков; $I_{\text{ж}}$ и $I_{\text{в}}$ – соответственно длина магнитопровода и воздушного зазора; $S_{\text{ж}}$ и $S_{\text{в}}$ – сечение магнитопровода и воздушного зазора; $\mu_{\text{ж}}$ и $\mu_{\text{в}}$ – магнитная проницаемость железа ферромагнетика и воздуха; $P_{\text{ж}}$ – потери в магнитопроводе, пронизываемом магнитным потоком Φ ; ω – угловая частота.

Так как для подкоренного выражения в вышеприведенной формуле справедливо положение

$$\left(\frac{I_{\text{ж}}}{\mu_{\text{ж}} S_{\text{ж}}} + \frac{I_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}} S_{\text{в}}}\right)^2 \gg \left(\frac{P_{\text{ж}}}{\omega \Phi^2}\right)^2,$$

то с незначительной погрешностью можно считать, что индуктивность системы равна

$$L = \frac{n^2}{\frac{I_{\text{ж}}}{\mu_{\text{ж}} S_{\text{ж}}} + \frac{I_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}} S_{\text{в}}}}.$$

Учитывая, что магнитная проницаемость железа равна $\mu_{\text{ж}} = 7000 \dots 7500$, а воздуха $\mu_{\text{в}} = 1$, т.е.

$$\frac{I_{\text{ж}}}{\mu_{\text{ж}} S_{\text{ж}}} \ll \frac{I_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}} S_{\text{в}}},$$

с ошибкой 1...2 % можно принять

$$L = \frac{n^2}{I_{\text{в}}} S_{\text{в}} \quad \text{или} \quad I_{\text{в}} = \frac{n^2}{L} S_{\text{в}},$$

Полное сопротивление обмотки вычисляется по известной формуле

$$Z = \sqrt{(\omega L)^2 + R^2},$$

но на практике активное сопротивление обмотки R значительно меньше индуктивного ωL , поэтому в расчетах активное сопротивление не учитывается. По измеренным значениям напряжения U и тока I вычисляется полное сопротивление

$$Z = \frac{U}{I},$$

а затем и индуктивность

$$L = \frac{Z}{\omega} = \frac{U}{\omega I};$$

отсюда получаем зависимость толщины воздушного зазора от изменения напряжения, возникающего на катушке:

$$I_{\text{в}} = \frac{n^2 \omega I}{U} S_{\text{в}}.$$

Двухобмоточные накладные катушки – измерительная 8 и эталонная 9 располагают с зазором с противоположной стороны соответственно полосы биметалла 1 и эталонного образца 2 . Вторичные обмотки катушек $8, 9$ включены последовательно – встречно, а первичные обмотки катушек питаются переменным током по крайней мере на двух частотах [5], причем первая частота выбирается такой, чтобы глубина проникновения вихревых токов была меньше толщины контролируемого слоя биметалла,

что позволяет контролировать его толщину, а вторая – больше, что позволяет контролировать сплошность его соединения.

Величина глубины проникновения δ вихревых токов в слой биметалла h рассчитывается по известной формуле [4]

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_a \omega \sigma}},$$

где ω – круговая частота тока возбуждения; μ_a – абсолютная магнитная проницаемость материала слоя; σ – удельная электропроводность материала, с целью достижения наибольшей чувствительности прибора. Расчеты показывают, что, например, при частоте тока возбуждения на глубине материала $h = 1\delta$ вихревые токи затухают ~ до 37 %, при $h = 2\delta$ до 13,5 %, а при $h = 3\delta$ до 5 %, а при $h = 5\delta$ – только 0,7 %.

При таком исполнении увеличивается чувствительность, повышается точность измерения, а также возможность измерения сплошности соединения слоев биметалла.

Отклонение толщины и сплошность соединения слоев биметалла от эталона определяют соответственно на первой и второй частотах по изменению напряжения на второй обмотке измерительной катушки относительно напряжения вторичной обмотке катушки, расположенной над эталоном. Наводимое на катушках э.д.с. подаем на демодулятор 11, усиливаем сигнал усилителем 12 и выводим на микропроцессорное устройство 13, где и определяется изменение толщины по первой частоте и сплошности по второй частоте слоев биметалла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ способов изготовления сталебронзового биметалла холодным плакированием / А.В. Колмаков, Ю.В. Плужников, А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9, № 4. – С. 698 – 703.
2. Биметаллический прокат / П.Ф. Засуха, В.Д. Корщиков, О.Б. Бухвалов, А.А. Ершов. – М. : Металлургия, 1971. – 264 с.
3. С1 2210058 RU, G 01 B 7/06, G 01 N 27/90. Способ непрерывного контроля толщины слоев биметалла с ферромагнитным основанием / Ю.В. Плужников, А.В. Колмаков, А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов. – № 2002102151/28 ; Заявл. 23.01.2002 // Изобретения (Заявки и патенты). – 2003. – № 22.
4. Шевакин, Ю.Ф. Технологические измерения и приборы в прокатном производстве / Ю.Ф. Шевакин, А.М. Рытников, Н.И. Касаткин. – М. : Металлургия, 1973. – 367 с.
5. Дорофеев, А.Л. Индукционная толщинометрия / А.Л. Дорофеев, А.И. Никитин, А.Л. Рубин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1978. – 184 с.

Кафедра «Радиоэлектронные средства бытового назначения»