

УДК 53.082.6:536.212.2

МЕТОД НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ И СПЛОШНОСТИ
СОЕДИНЕНИЯ СЛОЕВ БИМЕТАЛЛА

Д.В. Семенов, А.П. Пудовкин

Кафедра «Радиоэлектронные средства бытового назначения»,
ГОУ ВПО «ТГТУ»; dmitry.semenenko@gmail.com

Представлена членом редколлегии профессором В.Ф. Калининым

Ключевые слова и фразы: биметалл; непрерывный контроль качества биметалла; сплошность соединения слоев.

Аннотация: Рассмотрен метод, реализующий непрерывный неразрушающий контроль толщины и сплошности 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 рис. 1 представлена схема устройства, реализующего метод непрерывного контроля толщины и сплошности соединений слоев биметалла.

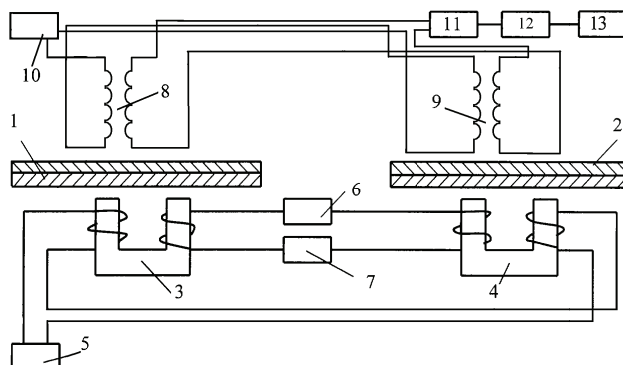


Рис. 1. Схема устройства, реализующего метод непрерывного контроля толщины и сплошности соединений слоев биметалла:

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

Метод осуществляется следующим образом.

Биметаллическая полоса 1 и эталон 2 намагничиваются с помощью П-образных электромагнитов измерительного 3 и эталонного 4 индукторов 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, при которой эффективная глубина проникновения вихревых токов меньше, чем толщина измеряемой полосы. Во вторичных обмотках электромагнитов возникают напряжения, которые пропорциональны толщинам измеряемого ферромагнитного основания биметалла и эталона. Вторичные обмотки соединены так, что их напряжение в схеме сравнения направлены навстречу одно другому. Так как напряжение, поступающее от вторичной обмотки эталонного электромагнита, постоянно, а напряжение от вторичной обмотки измерительного электромагнита, контролирующего толщину ферромагнитного слоя прокатываемой биметаллической полосы, меняется в зависимости от изменения этой толщины, то результирующее напряжение будет пропорционально отклонению толщины от заданной эталоном. Выпрямленный ток поступает на указатель 7 отклонения толщины ферромагнитного слоя биметаллической полосы от заданной толщины.

Индуктивность электромагнитной системы [4]

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

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

Так как для подкоренного выражения в вышеприведенной формуле справедливо положение

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

то с незначительной погрешностью можно считать, что индуктивность системы

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

Учитывая, что магнитная проницаемость железа $\mu_{\text{ж}} = 7000 \dots 7500$, а воздуха $\mu_{\text{в}} = 1$, то есть

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

можно принять

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

Полное сопротивление обмотки вычисляется по известной формуле

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

где R – активное сопротивление обмотки катушки.

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,

$$l_B = \frac{n^2 \omega I}{U} S_B.$$

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

Синусоидальный ток первой частоты, действующий в возбуждающих (первичных) обмотках измерительной и эталонной накладных катушках, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем верхнем слое биметаллической полосы. Эти вихревые токи затухают по мере проникновения вглубь исследуемого объекта. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на вторичные обмотки измерительной 8 и эталонной 9 катушек, наводя в них ЭДС, которые пропорциональны толщинам измеряемого верхнего слоя биметалла и эталонна. Напряжение эталонной катушки также постоянно, а напряжение измерительной катушки, контролирующее толщину верхнего слоя биметаллической полосы, меняется в зависимости от изменения этой толщины. Результирующий сигнал подается на демодулятор 11 , на выходе которого создается выпрямленное напряжение, пропорциональное по величине отклонению толщины слоя биметалла от заданной эталоном. Выпрямленный и усиленный сигнал усилителем 12 подается на вход микропроцессорного устройства 13 , где и регистрируется отклонение толщины.

Величина глубины проникновения δ вихревых токов используемой частоты в материал слоя рассчитывается по известной формуле [4]

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

где ω – круговая частота тока возбуждения; μ_a – абсолютная магнитная проницаемость слоя материала; σ – удельная электропроводность материала.

Расчеты показывают, что, например, при частоте тока возбуждения 10 МГц на глубине материала $h = 1\delta$ вихревые токи затухают \sim до 37% , при $h = 2\delta$ –

до 13,5 %, а при $h = 3\delta$ – до 5 %. Это значит, что при толщине полосы $h < \delta$ более 37 % вихревых токов будет проникать через полосу, тем самым снижая чувствительность устройства, что приведет к невозможности замера покрытий в десятки доли мкм, а так же к невозможности замера сплошности соединений слоев биметалла на второй частоте. Для повышения чувствительности устройства выбираем такую частоту питающего тока, чтобы глубина проникновения вихревых токов δ не превышала $\frac{1}{5}h$. Так, при $\delta = \frac{1}{5}h$ только 0,7 % возбуждаемых вихревых токов проникают через исследуемый слой, а 99,3 % – нет. При таком исполнении увеличивается чувствительность устройства, и появляется возможность измерения толщины слоя биметалла в сотые доли мкм, что повышает точность и дает возможность измерения сплошности соединения слоев биметалла на второй частоте.

Для измерения сплошности слоев биметалла глубину проникновения вихревых токов выбираем больше чем толщина слоя, то есть $\delta > h$. Синусоидальный ток второй частоты, действующий в возбуждающих (первичных) обмотках измерительной 8 и эталонной 9 катушках, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем верхнем слое биметаллической полосы. Эти вихревые токи затухают по мере проникновения вглубь исследуемого объекта. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на вторичные обмотки измерительной 8 и эталонной 9 катушек, наводя в них ЭДС, которые пропорциональны изменению сплошности соединения слоев биметалла и эталона. Напряжение эталонной катушки также постоянно, а напряжение измерительной катушки, контролирующей сплошность соединения слоев биметаллической полосы, меняется в зависимости от изменения сплошности соединения слоев и толщины слоя биметалла. Результирующий сигнал подается на демодулятор 11, на выходе которого создается выпрямленное напряжение, пропорциональное по величине изменению сплошности соединения слоев и толщины биметалла от заданной эталоном. Выпрямленный и усиленный сигнал усилителем 12 подается на вход микропроцессорного устройства 13, где сравниваются сигналы на первой и второй частотах и по разности напряжений судят об изменении сплошности соединения слоев биметалла.

Таким образом, отклонение толщины второго слоя 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.

Список литературы

1. Анализ способов изготовления сталебронзового биметалла холодным плакированием / А.В. Колмаков [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2003. – Т. 9, № 4. – С. 698–703.
2. Биметаллический прокат / П.Ф. Засуха [и др.]. – М. : Металлургия, 1971. – 264 с.
3. Пат. 2210058 Российская Федерация, G 01 В 7/06, G 01 N 27/90. Способ непрерывного контроля толщины слоев биметалла с ферромагнитным основанием / Плужников Ю.В., Колмаков А.В., Пудовкин А.П., Чернышов В.Н. ; заявитель и патентообладатель Плужников Ю.В. – № 2002102151/28 ; заявл. 23.01.2002 ; опубл. 10.08.2003, Бюл. № 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.

Method of Continuous Control over Link Thickness and Uniformity of Bimetal Layers

D.V. Semenenko, A.P. Pudovkin

*Department "Radio-Electronic Means of Household Purpose", TSTU;
dmitry.semenenko@gmail.com*

Key words and phrases: bimetal; continuous control; uniformity of layer link.

Abstract: The paper studies the technique of continuous non-destructive control over thickness and uniformity of bimetal layers.

Methode der ununterbrochenen Kontrolle der Dicke und der Kontinuität der Schichtenverbindungen von Bimetallen

Zusammenfassung: Es ist die die ununterbrochene nichtzerstörende Kontrolle der Dicke und der Kontinuität der Bimetallschichten realisierende Methode betrachtet.

Méthode du contrôle continu de l'épaisseur et de l'entièreté de la liaison des couches des bimétaux

Résumé: Est examinée la méthode réalisant le contrôle continu non destructif de l'épaisseur et de l'entièreté des couches des bimétaux.

Авторы: *Семенов Дмитрий Владимирович* – аспирант кафедры «Радиоэлектронные средства бытового назначения»; *Пудовкин Анатолий Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиоэлектронные средства бытового назначения», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Гатапова Наталья Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химическая инженерия», ГОУ ВПО «ТГТУ».
