

В.П. СЕБКО, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ", Харьков
ШАДИ О.Ю. ОТМАН, аспирант, НТУ "ХПИ", Харьков
В.В. СЕБКО, д-р техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков

ВИХРЕТОКОВОЕ ТРЕХПАРАМЕТРОВОЕ УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЛАБОМАГНИТНЫХ ПЛОСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Исследован трехпараметровый метод контроля параметров плоских слабомагнитных изделий, получены основные соотношения, описывающие совместный измерительный контроль магнитных, электрических и температурных параметров.

Досліджено трипараметровий метод контролю параметрів плоских слабомагнітних виробів, отримано основні співвідношення, що описують сумісний вимірювальний контроль магнітних, електричних та температурних параметрів.

На сегодняшний день особое значение приобретает измерительный контроль параметров магнитных и немагнитных плоских изделий. Трансформаторный вихретоковый датчик (ТВД) для контроля магнитных и электрических параметров плоских изделий рассмотрен в ряде работ [1-5]. Однако, авторы работ [1-5] не учитывают температуру, при которой осуществляется контроль магнитного параметра μ_r и электрического параметра ρ плоских ферромагнитных изделий. Научные статьи [1-3, 6] посвящены экстремальным методам, недостатком этих работ является воздействие пологости экстремума на результаты контроля электромагнитных параметров, приходится всякий раз уточнять частоту, при которой наступает экстремум функции преобразования, а полученные выражения являются громоздкими и неточными. В работе [7] рассмотрен многопараметровый измерительный контроль параметров плоского ферромагнитного изделия с помощью трансформаторного электромагнитного преобразователя, работающего на кратных частотах. К недостаткам работы [7] можно отнести то, что нужно пользоваться линейной интерполяцией для определения μ_r , а также то, что при малых и больших значениях μ_r , функции преобразования являются близкими, например, при значениях $\mu_r = 1,1 - 1,3$ и $\mu_r = 200 - 250$, алгоритм измерительного контроля и функции преобразования существенно усложняются если по радиусу есть неоднородность, т.е.

из-за того что $x_2 = 2x_1$ возникают большие значения погрешностей измерений μ_r .

Таким образом, к настоящему времени не были разработаны многопараметровые электромагнитные методы совместного измерительного контроля магнитных, электрических и температурных параметров на основе простых универсальных функций преобразования, которые связывают параметры плоских металлических изделий, нагреваемых в процессе контроля, с электрическими сигналами первичных вихревых тепловых преобразователей. В свою очередь, отсутствие таких методов, не позволяет разработать ряд тепловых вихревых датчиков применительно к автоматизированным системам контроля и управления важными технологическими процессами, такими как отжиг, закалка с целью поверхностного упрочнения, отпуск, цианирование и др. Также до конца не известны особенности работы тепловых ТВД с нагреваемыми в процессе контроля плоскими слабомагнитными изделиями. Поэтому, возникает важная научно-практическая проблема, суть которой состоит в создании вихревых методов и устройств совместного измерительного контроля параметров слабомагнитных плоских изделий на базе тепловых ТВД, обеспечивающих нагрев в процессе контроля.

Следует отметить, что нагрев контролируемых плоских изделий в процессе контроля, позволяет повысить точность измерений магнитных, электрических параметров слабомагнитных плоских изделий. Следует отметить, что во всех справочных изданиях, даже современных, значение μ_r и σ сталей и сплавов указаны при температурах 20-25°C. При этом температура изделий измеряется контактными методами: термоэлектрическим и терморезистивным. Устройства, на базе которых реализуются эти методы, дают большие значения погрешностей измерений, связанные с тем, что между чувствительным элементом спаем термопары, проволокой терморезистора и контролируемым плоским образцом всегда находится слой диэлектрика или воздуха, и мы измеряем температуру не контролируемого плоского изделия, а температуру чувствительного элемента термопары или терморезистора, что приводит к погрешностям измерения температуры порядка 20-30%. Кроме того, термоэлектрическим и терморезистивным методами нельзя определить температуру во внутренних слоях изделия, а также степень прогрева изделия, что в свою очередь необходимо при термической, термохимической, термомеханической обработке стальных плоских изделий (отжиге 1-го и 2-го рода, отпуске стали, цементации, азотировании, цианировании, алитировании, силицировании, хроми-

ровании и т.д.).

Таким образом, определение температуры при осуществлении многопараметрового вихретокового контроля стальных плоских изделий на базе ТВД, позволяет определить среднюю по сечению температуру контролируемого плоского образца, а также степень прогрева слабомагнитных пластин.

В настоящей работе будет рассмотрен совместный измерительный контроль относительной магнитной проницаемости μ_r , удельного электрического сопротивления ρ и температуры t слабомагнитных плоских изделий. Поскольку слабомагнитные плоские изделия используются практически во всех отраслях промышленности Украины (машиностроении, химическом машиностроении, металлургии, приборостроении и др.), вопросы бесконтактного вихретокового многопараметрового контроля слабомагнитных пластин в процессе их изготовления и эксплуатации являются весьма актуальными.

Целью работы является создание трехпараметрового вихретокового метода совместного измерительного контроля магнитных, электрических и температурных параметров слабомагнитных плоских изделий.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать алгоритм измерительных и расчетных операций для совместного измерительного контроля μ_r , ρ и t слабомагнитных плоских изделий.

2. Привести основные соотношения для совместного определения электромагнитных параметров и температуры контролируемых слабомагнитных плоских образцов.

Вихретоковое трехпараметровое устройство контроля параметров слабомагнитных плоских изделий, нагреваемых в процессе контроля. С учетом схемных реализаций, описанных в работах [1-7], на рис. 1 приведена схема включения теплового ТВД с контролируруемыми слабомагнитными плоскими изделиями. Схема включает в себя рабочий преобразователь (РП), компенсационный преобразователь (КП) и опорный преобразователь (ОП), которые являются идентичными: радиус $a_n = 0,025$ м, длина $l_n = 0,52$ м, число витков намагничивающих и измерительных обмоток $w_n = 289$, $w_n = 1048$.

Намагничивающий ток I_n регистрируем амперметром – А, напряженность магнитного поля ТВД без образца $H_0 \approx 100$ А/м. В схеме используются вольтметры V_2 и V_3 , V_2 измеряет ЭДС $E_{вн1}$, а V_3 ЭДС ТВД без пластины E_0 .

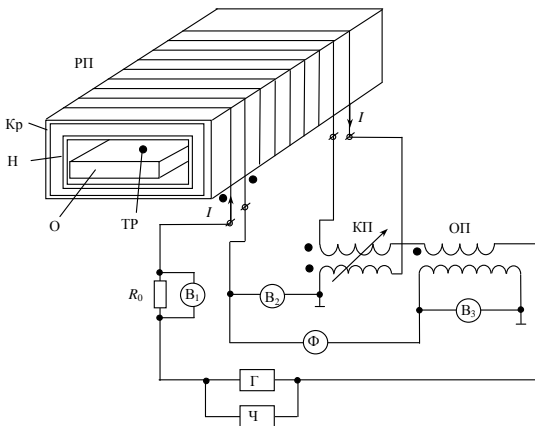


Рис. 1.

Первичные обмотки РП, КП и ОП (намагничивающие) включены последовательно – согласно, а вторичные (измерительные обмотки) РП и КП последовательно – встречно [1-5]. Схема содержит также греющее устройство – ГУ, которое расположено внутри РП, в ГУ помещается контролируемый плоский слабомагнитный образец. Схема также включает в себя генератор – Г и частотомер – Ч. Фазометр Ф предназначен для измерения фазового угла между E_0 и $E_{внт}$. В качестве контрольного метода для измерения температуры использовались платиновые терморезисторы –ТР, при этом брались средние значения при каждой температуре t , измеренные двумя ТСП. В схеме предусмотрена полная компенсация ЭДС E_0 , которая достигается путем изменения витков вторичной обмотки КП, выполненного в виде вариометра (при отсутствии в ТВД плоского образца). При этом ЭДС двух встречно включенных обмоток РП и КП должно быть равно нулю. Эта компенсация эквивалентна условному переносу витков измерительной обмотки ТВД, непосредственно на контролируемый плоский слабомагнитный образец. Следует отметить, что полная компенсация позволяет контролировать слабомагнитные пластины различной ширины, одним и тем же тепловым ТВД, в случае если размеры каркаса ТВД предусмотрены.

Таким образом, сначала измеряем ЭДС $E_{внт}$, E_0 и фазовый угол $\Phi_{внт}$. Затем определяем намагниченность J_t контролируемого слабомагнитного образца

$$J_t = \frac{E_{внт}}{4,44 f d h \mu_0 w_{и}}, \quad (1)$$

где d – толщина пластины; h – ширина; $w_{и}$ – число витков измерительной обмотки; μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; индекс t говорит о том, что данная величина зависит от температуры t .

Относительная магнитная проницаемость μ_{rT} , равна

$$\mu_{rt} = 1 + J_t / H, \quad (2)$$

где H – напряженность магнитного поля, создаваемая током I_H .

Далее, воспользовавшись известными функциями преобразования [1-5], которые приведены на рис. 2 и рис. 3, определяем параметр N_t (удельная нормированная вносимая ЭДС теплового ТВД) и обобщенный магнитный параметр x_t [1-5] (при измеренных значениях зависящего от температуры фазового угла $\varphi_{внт}$). Затем зная значения N_t и x_t , находим удельное электрическое сопротивление ρ_t и температуру t слабомагнитных плоских изделий

$$\rho_t = \frac{\pi E_{внт}^2 S_k^2 \mu_r f_t \mu_0}{x_t^2 E_0^2 N_t^2 h^2}, \quad (3)$$

$$t = \left(\frac{1 + \alpha t_H}{\alpha} \right) \left(\frac{\pi E_{внт}^2 S_k^2 \mu_r f_t \mu_0}{\rho_H x_t^2 E_0^2 N_t^2 h^2} - 1 \right) + t_H, \quad (4)$$

где ρ_H – удельное электрическое сопротивление при начальной температуре $t_H = 20^\circ\text{C}$; α – температурный коэффициент сопротивления.

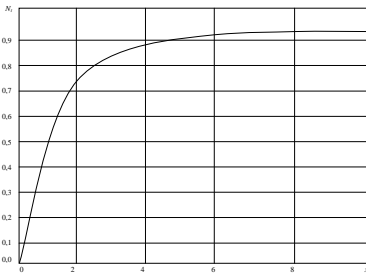


Рис. 2.

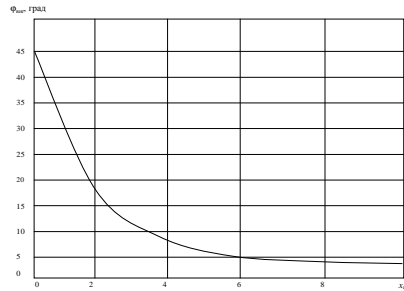


Рис. 3.

Выводы. В рамках решения важной научно-практической проблемы, которая состоит в создании вихрековых методов и устройств совместного измерительного контроля параметров слабомагнитных плоских изделий на базе тепловых ТВД обеспечивающих нагрев в процессе контроля, исследован трехпараметровый вихрековый метод совместного измерительного контроля магнитных, электрических и температурных параметров слабомагнитных плоских изделий.

Разработан алгоритм измерительных и расчетных операций для совместного измерительного трехпараметрового вихрекового кон-

троля относительной магнитной проницаемости μ_r , удельного электрического сопротивления ρ_r и температуры t . Приведены основные соотношения для совместного определения электромагнитных параметров и температуры слабомагнитных плоских изделий.

Научной новизной работы являются полученные соотношения, которые описывают совместный трехпараметровый измерительный контроль параметров слабомагнитных плоских образцов. Практическое значение работы состоит в возможности многопараметрового контроля слабомагнитных плоских изделий различной ширины, за счет проведения полной компенсации ЭДС теплового ТВД. Перспективы дальнейших исследований состоят в создании вихретоковых методов и устройств для совместного многопараметрового контроля параметров слабоферромагнитных и ферромагнитных пластин в широком диапазоне изменения μ_r от 1,1 до 500.

Список литературы: 1. *Клюев В.В., Файнгойс М.Л.* Контроль несоосными накладными экранными преобразователями движущейся полосы // Дефектоскопия. – 1974. – №3. – С. 24-29. 2. *Себко В.П., Кириченко Р.И.* К теории работы трансформаторного электромагнитного преобразователя с плоским проводящим изделием // Технічна електродинаміка. – Київ: Ін-т електродинаміки НАНУ. – 2000. – Тем. випуск, Ч. 1. – С. 93-98. 3. *Себко В.П., Кириченко Р.И.* Электромагнитный метод определения двух параметров плоского изделия на основе экстремума фазового угла преобразователя // Наукові праці III-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія 2002)". – Харків. – 2002. – С. 129-132. 4. *Гончаров Б.В.* Теория и практика безэталоновых электромагнитных методов контроля. – М.: Машиностроение, 1975. – 40 с. 5. *Глоба С.Н.* Универсальное электромагнитное устройство для контроля разомкнутых стальных пластин. – Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. – 1999. – Вып. 37. – С. 28-30. 6. *Себко В.П., Львов С.Г., Шади О.Ю. Отман.* Трехпараметровый электромагнитный преобразователь с плоским изделием на основе максимальной фазы суммарной ЭДС // Технічна електродинаміка. – Київ: Ін-т електродинаміки НАНУ. – 2003. – Тем. випуск, Ч.1. – С. 117-120. 7. *Себко В.В.* Трансформаторный вихретоковый датчик с пластиной, зондируемой полем кратных частот // Український метрологічний журнал. – Харків. – 2007. – Вип. 2. – С. 26-29.

Поступила в редколлегию 5.07.2010