

УДК 621.923

Теоретичний аналіз сили різання при механічній обробці / Новиков Ф. В., Кленів О. С. // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2012. – №47(953).. – С. 233–239. – Бібліогр.: 5 назв.

Виконано розрахунок і теоретичний аналіз сили різання, що виникає при механічній обробці матеріалів, з використанням фундаментальних методів теорії пружності й на цій основі показана ефективність застосування різальних інструментів, які володіють підвищеною міцністю й зносостійкістю. Наведено конкретні практичні рекомендації.

Ключові слова: механічна обробка, різальний інструмент, сила різання, напруга, міцність

The calculation of theoretical analysis of the cutting force that occurs when mechanical treatment of materials, using basic methods of the theory of elasticity and, on this basis, the effectiveness of cutting instruments, with increased strength and durability. Offer specific recommendations for action. Il. 4, ref.: 5 titles.

Keywords: machining, cutting tool, cutting force, power, strength

УДК 006.015.5

В. В. СЕБКО, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,

В. Н. БАБЕНКО, асистент, НТУ «ХПИ»,

В. П. СЕБКО, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ».

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛОСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МНОГОПАРАМЕТРОВОГО МЕТОДА НА БАЗЕ ТЕПЛОВОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Исследована возможность повышения точности измерений и достоверности контроля параметров стальной ферромагнитной пластины за счет реализации дифференциального многопараметрового вихретокового метода.

Ключевые слова. точность измерений, достоверность контроля, плоское изделие, магнитная проницаемость, температура, сигнал, погрешности измерений, амплитуда ЭДС, угол сдвига фаз, дифференциальный метод, тепловой преобразователь.

На сегодняшний день хорошо описана теория работы трансформаторного вихретокового преобразователя с магнитными и немагнитными цилиндрическими изделиями при реализации дифференциальных вихретоковых методов [1-8]. В 70-80-х годах прошлого века в научных работах [1-3] описаны дифференциальные методы контроля одного параметра (например, магнитного или электрического) с отстройкой от других «мешающих» физико-механических параметров. В последнее время развитие дифференциальных методов и реализующих их вихретоковых многопараметровых устройств (в том числе и автоматизированных) пошло по пути совместного контроля магнитных и электрических параметров в одной и той же зоне контроля цилиндрических изделий, одним и тем же вихретоковым преобразователем [4-7]. Недостатком работ [4-7] является то, что была не известна температура, при которой осуществлялся измерительный контроль относительной магнитной проницаемости μ_r и электрических параметров (удельной электрической проводимости σ или удельного электрического сопротивления ρ), что в свою очередь снижало точность измерений электромагнитных параметров цилиндрических изделий и достоверность контроля параметров [11].

В работе [8] описан дифференциальный вихретоковый метод контроля температуры немагнитных цилиндрических изделий, однако многопараметровый контроль плоских изделий с помощью дифференциального теплового вихретокового устройства так и остался без внимания.

© В. В. Себко, В. Н. Бабенко, В. С. Себко, 2012

Как известно, дифференциальный метод вихретокового неразрушающего контроля основан на измерении и анализе сигналов вихретокового преобразователя, обусловленных приращениями контролируемых параметров изделий [1-5]. Следует отметить, что на сегодняшний день не были разработаны дифференциальные вихретоковые методы контроля параметров плоских изделий, т.е. определение температурных параметров магнитных и немагнитных пластин осуществляется абсолютными методами [9, 10], недостатками которых являются низкая точность измерений, сравнительно небольшая разрешающая способность, как правило, низкая достоверность контроля (из-за того, что не учитывалась температура t , при которой измерялись μ_r и σ). При этом в работе [11] был рассмотрен ТВП, на базе которого осуществлялась реализация четырехпараметрового вихретокового метода, основанного на кратных частотах зондирующего плоское изделие внешнего магнитного поля. Однако, для повышения точности измерений физико-механических параметров пластин и чувствительности ТВП к этим параметрам целесообразно разработать дифференциальный многопараметровый вихретоковый метод, достоинствами которого по сравнению с методом, описанным в работе [11], являются сравнительно широкий частотный диапазон измерения разностного сигнала, а также простые решения в области автоматизации процесса измерительного контроля параметров плоских изделий.

Таким образом, возникает важная научная и практическая проблема, суть которой заключается в создании основных теоретических положений работы вихретоковых дифференциальных устройств измерительного контроля электромагнитных и температурных параметров ферромагнитных плоских изделий. Как известно совместный контроль μ_r , σ и t плоских изделий имеет важное самостоятельное значение, так как позволяет повысить общую достоверность контроля, за счет повышения методической составляющей достоверности контроля [12].

Целью работы является создание нового трехпараметрового вихретокового дифференциального метода совместного контроля относительной магнитной проницаемости μ_r , удельного электрического сопротивления ρ и температуры t стальной ферромагнитной пластины на базе теплового ТВП.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. С помощью ввода специальных нормированных параметров получить новые универсальные функции преобразования теплового ТВП с ферромагнитной пластиной.

2. На основании полученных универсальных функций преобразования, разработать дифференциальный вихретоковый метод неразрушающего контроля относительной магнитной проницаемости μ_r , удельного электрического сопротивления ρ и температуры t плоских ферромагнитных изделий на базе теплового трансформаторного вихретокового преобразователя (ТВП).

2. Дифференциальный многопараметровый вихретоковый метод контроля параметров плоских ферромагнитных изделий.

Перейдем непосредственно к изложению материала. Воспользовавшись результатами работ [1-11], введем нормированные параметры для того, чтобы получить новые универсальные функции преобразования. Параметр Π с учетом [1-10], выражает собой удельную нормированную ЭДС E_2 , связанную с магнитным потоком в изделии (на единицу магнитной проницаемости μ_r). Величина β_2 характеризует собой фазовый угол сдвига между параметром Π и ЭДС E_0 , которая обусловлена магнитным потоком в преобразователе без изделия [1-10]. Параметр Π_x выражает собой удельную нормированную ЭДС E_2 , обусловленную прохождением магнитного потока через квадратную единичную площадку со стороной, равной глубине проникновения магнитного поля δ . При этом параметр Π_{x1} выражается формулой

$$\Pi_{xt} = \Pi_t \cdot x_t^2 \quad (1)$$

где индекс “t” говорит о том, что данная величина зависит от температуры.

Выражение для определения обобщенного магнитного параметра при контроле нагреваемых плоских изделий, выглядит следующим образом [9-1]

$$x_t = d \sqrt{\frac{\pi \mu_o \mu_{\Gamma t} f_t}{\rho_t}} \quad (2)$$

где d – толщина нагреваемой пластины; $\mu_{\Gamma t}$ – относительная магнитная проницаемость (зависимый от температуры магнитный параметр); ρ_t – удельное электрическое сопротивление нагреваемой ферромагнитной пластины; μ_o – магнитная постоянная [1]; $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/М}$; f_t – частота магнитного поля теплового дифференциального ТВП [1-10].

На рис. 1 представлена схема включения теплового ТВП с контролируемой ферромагнитной пластиной при реализации трехпараметрового вихретокового дифференциального метода контроля магнитных, электрических и температурных параметров плоских изделий.

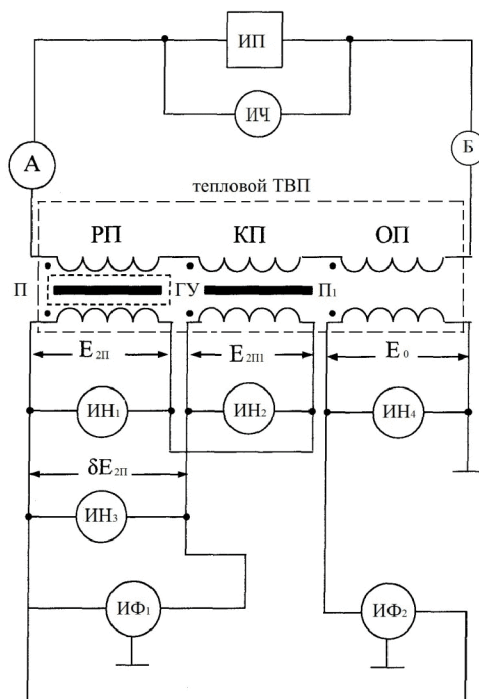


Рис. 1 – Схема теплового ТВП с плоским изделием при реализации трехпараметрового дифференциального метода.

Схема включает в себя: ИП – источник переменного тока, ИЧ – измеритель частоты, А – амперметр. Тепловой ТВП, который включает в себя: рабочий преобразователь – РП, компенсационный и опорный преобразователи – КП и ОП. В схему так же входят: измерители напряжения ИН₁, ИН₂, ИН₃, ИН₄; измерители сдвига фаз – ИФ₁, ИФ₂, нагреваемый и холодный образцы П и П₁. Б – бареттер, ГУ – греющее устройство. Таким образом, измерителем напряжения – ИН₄ измеряем ЭДС E_0 . Затем измерителем фазового угла сдвига ИФ₁ определяем разностный сигнал, т.е. $\delta\beta_2 = \beta_{2П} - \beta_{2П1}$. Далее находим разностную ЭДС $\delta E_{2П} = E_{2П} - E_{2П1}$, с помощью измерителя напряжения ИН₃. Используя результаты работ [3-11], запишем выражение для производной приращения, при контроле плоских ферромагнитных изделий

$$\frac{\delta x_{\Pi t}}{x_{\Pi t}} = \frac{dx_{\Pi t}}{d\beta_{2\Pi t}} \cdot \frac{1}{x_{\Pi t1}} \cdot \beta_{2\Pi t} \quad (3)$$

где $\beta_{2\Pi 1}$ – фазовый угол $\beta_{2\Pi}$ при $t_1=20^\circ\text{C}$; $x_{\Pi 1}$ – обобщенный магнитный параметр x при $t_1=20^\circ\text{C}$.

Зависимости параметров теплового ТВП в дифференциальном варианте представлены на рис 2-4.

Следует отметить, что данное тепловое электромагнитное устройство и дифференциальный трехпараметровый вихретоковый метод могут быть использованы при контроле физико-механических параметров плоских изделий после холодной и горячей прокатки, а также после термической обработки изделий и конструкций ответственного машиностроения.

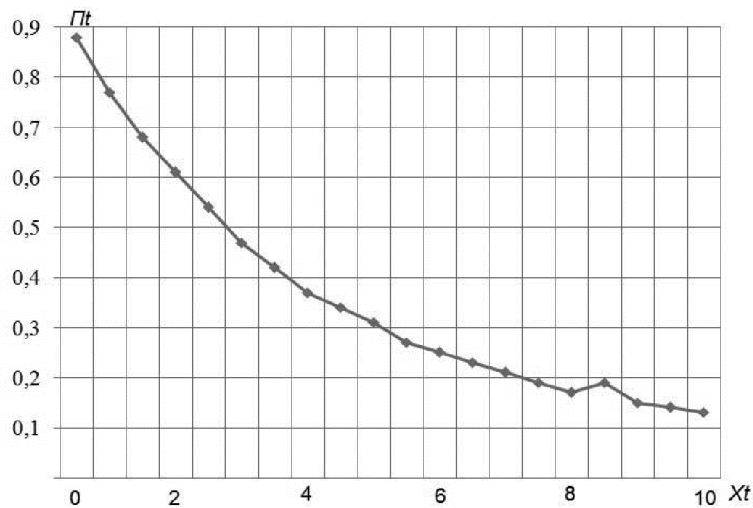


Рис. 2 – Зависимость удельной нормированной ЭДС теплового ТВП в дифференциальном варианте от обобщенного магнитного параметра x_t , $\Pi_t = f(x_t)$

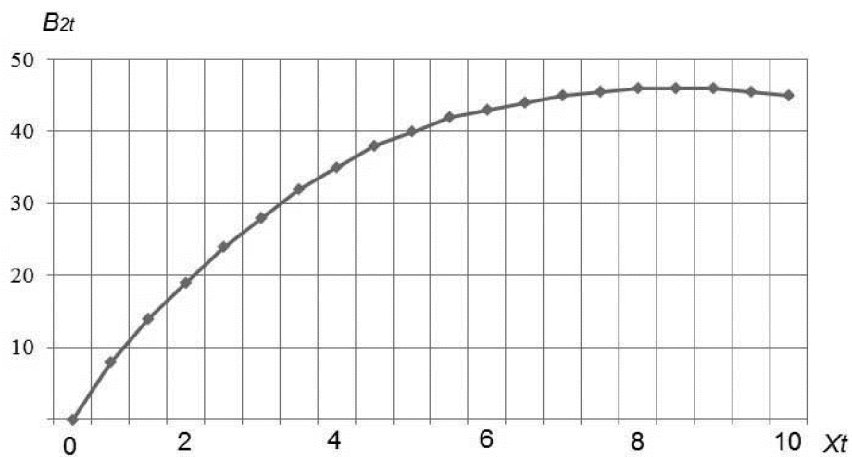


Рис.3 – Зависимость фазового угла сдвига между параметрами Π_t и ЭДС E_0 теплового ТВП от параметра x_t при реализации дифференциального метода, $\beta_{2t} = f(x_t)$

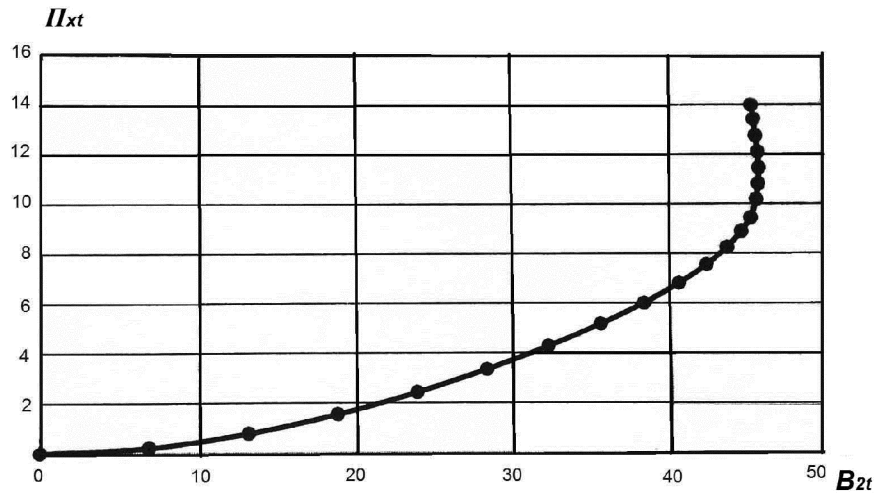


Рис. 4 – Зависимость параметра Π_{xt} от величины фазового угла теплового ТВП с пластиной, $\Pi_{xt} = f(\beta_{2t})$

Для ферромагнитной пластины приращение $\frac{\delta \Pi_t}{\Pi_t}$ можно записать в виде:

$$\frac{\delta \Pi_t}{\Pi_t} = \frac{d \Pi_t}{d \beta_{2t}} \cdot \frac{1}{\Pi_1} \cdot \delta \beta_{2\Pi 1} \quad (4)$$

Далее получим выражение для приращения относительной магнитной проницаемости, с учетом (3) и (4) выражение для относительного приращения $\frac{\delta \mu_{ГТ}}{\mu_{ГП1}}$ выглядит следующим образом:

$$\frac{\delta \mu_{ГТ}}{\mu_{ГП1}} = \frac{\delta E_{2\Pi t}}{E_{2\Pi 1}} - \frac{d \Pi_t}{d \beta_{2t}} \cdot \frac{1}{\Pi_1} \cdot \delta \beta_{2\Pi 1} \quad , \quad (5)$$

где $\frac{\delta E_{2\Pi t}}{E_{2\Pi 1}}$ – относительное приращение ЭДС $E_{2\Pi t}$ которое обусловлено с прохождением магнитного потока внутри контролируемой пластины,

$E_{2\Pi t}$ – ЭДС при любой температуре тиз исследуемого диапазона [20-150 °С],
 $E_{2\Pi 1}$ – ЭДС при температуре $t_1=20^\circ\text{C}$.

Относительное приращение удельной электрической проводимости $\frac{\delta \sigma_t}{\sigma_{П1}}$ определяется по формуле:

$$\frac{\delta \sigma_t}{\sigma_{П1}} = \left(2 \frac{dx_t}{d\beta_{2t}} \cdot \frac{1}{x_{П1}} + \frac{d \Pi_t}{d \beta_{2t}} \cdot \frac{1}{\Pi_1} \right) \delta \beta_{2\Pi 1} - \frac{\delta E_{2\Pi t}}{E_{2\Pi 1}} \quad (6)$$

Для упрощения формулы (6) введем коэффициент B_1

$$B_1 = 2 \frac{dx_t}{d\beta_{2t}} \cdot \frac{1}{x_{П1}} + \frac{d \Pi_t}{d \beta_{2t}} \cdot \frac{1}{\Pi_1} \quad (7)$$

Упростим формулу (7) используя коэффициент A_1

$$A_1 = \frac{d \Pi_t}{d \beta_{2t}} \cdot \frac{1}{\Pi_1} \quad (8)$$

или

$$B_1 = 2 \frac{dx_t}{d\beta_{2t}} \cdot \frac{1}{x_{П1}} + A_1 \quad (9)$$

Определим температуру контролируемого ферромагнитного плоского образца, воспользовавшись двучленной зависимостью $\rho = f(t)$ [13].

$$\frac{\rho}{\rho_{П1}} - 1 = \frac{\alpha}{1 + \alpha \cdot t_{П1}} \cdot (t - t_{П1}) \tag{10}$$

Формула для определения температуры плоских изделий при реализации дифференциального трехпараметрового вихретокового метода на базе теплового ТВП, имеет следующий вид:

$$t = \left(\frac{1 + \alpha t_{П1}}{\alpha} \right) \cdot \left(\frac{\pi d^2 \mu_o E_{2П1} \cdot f t}{E_o \cdot \eta_{П1} \cdot x_t^2 \rho_{П1}} - 1 \right) + t_{П1} \tag{11}$$

где α – температурный коэффициент сопротивления (ТКС) материала плоского изделия [13], η – коэффициент заполнения пластиной теплового ТВП (выполненного в дифференциальном варианте) [9,10]. В табл. приведены полученные результаты исследований теплового дифференциального устройства с нагреваемым плоским изделием (сталь – 3).

Таблица . Исследование влияния температуры на параметры стальной пластины (сталь 3, $\mu_{Г20^{\circ}\text{C}} = 83; \rho_{20^{\circ}\text{C}} = 2,041 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}; \alpha = 8 \cdot 10^{-4} \text{ 1/К}; x = 2$)

$t, ^{\circ}\text{C}$	$\mu_{Гt}$	$\rho_t \cdot 10^{-7}, \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	$\frac{\delta \mu_{Гt}}{\mu_{Г1}}$	$\frac{\delta \rho_t}{\rho_1}$	$\frac{\delta t}{t}$	$\gamma_{\mu}, \%$	$\gamma_{\rho}, \%$	$\rho_t, \%$
30	83,452	2,057	29,96	0,008	0,008	0,498	0,79	0,78	-0,13
40	84,104	2,073	39,91	0,016	0,016	0,996	0,78	0,77	-0,23
50	84,756	2,089	49,87	0,024	0,024	1,494	0,78	0,77	-0,26
60	85,408	2,105	59,82	0,031	0,031	1,991	0,77	0,76	-0,30
70	86,059	2,121	69,78	0,039	0,039	2,489	0,76	0,75	-0,31
80	86,712	2,137	79,74	0,047	0,047	2,987	0,76	0,75	-0,33
90	87,364	2,153	89,69	0,055	0,055	3,485	0,75	0,74	-0,34
100	88,016	2,169	99,65	0,063	0,063	3,983	0,74	0,73	-0,35
110	88,668	2,185	109,60	0,071	0,071	4,480	0,74	0,73	-0,36
120	89,319	2,202	120,18	0,079	0,079	5,009	0,73	0,74	0,15
130	89,972	2,218	130,14	0,087	0,087	5,507	0,73	0,72	0,11
140	90,624	2,234	140,09	0,094	0,094	6,005	0,72	0,70	0,06
150	91,276	2,249	149,43	0,102	0,102	6,478	0,72	0,67	-0,38

Таким образом, совместное определение магнитных, электрических и температурных параметров плоских ферромагнитных изделий, позволяет повысить точность измерений и достоверность контроля параметров плоских изделий, а так же оценить влияние температуры t ферромагнитного плоского образца на компоненты сигналов теплового ТВП выполненного в дифференциальном варианте.

Выводы. Таким образом, в рамках решения важной научной и практической проблемы, которая заключается в создании основных теоретических положений работы вихретоковых дифференциальных устройств измерительного контроля электромагнитных и температурных параметров ферромагнитных плоских изделий, создан новый трехпараметровый вихретоковый метод совместного контроля относительной магнитной проницаемости $\mu_{Гt}$, удельного электрического сопротивления ρ_t и температуры t на базе теплового ТВП работающего в дифференциальном варианте. Получены новые универсальные функции преобразования $\mu_{Гt} = f(x_t), \rho_{2t} = f(x_t)$ и $\mu_{Гt} = f(\rho_{2t})$. На основании приведенной схемы включения дифференциального теплового ТВП с плоским ферромагнитным изделием, разработан алгоритм совместного измерительного контроля $\mu_{Гt}, \rho_t$ и t . Исследовано влияние температуры на электромагнитные параметры плоского изделия с помощью теплового ТВП выполненного в дифференциальном варианте.

Список литературы: 1. Неразрушающий контроль металлов и изделий /Под ред. Г.С. Самойловича. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с. 2. Герасимов В.Г. Электромагнитный контроль однослойных и многослойных изделий. – М.: Энергия, 1977. – 160 с. 3. Ковашевич И.П. Ферромагнитный цилиндр в проходном вихретоковом преобразователе. Численное решение обратной задачи // Дефектоскопия. – 1984. – № 9. – С. 8-12. 4. Себко В.П., Авраменко А.А., Друнов В.А., Тюпа В.И. Измерение удельной электрической проводимости цилиндрических изделий // Дефектоскопия. – 1984. – №6. – С. 12-15. 5. Сиренко Н.Н., Лямпарт Е., Багмет О.Л. Многопараметровый преобразователь контроля цилиндрических токопроводов. – В сб.: Третья Республиканская научно-техническая конференция "Устройства преобразования информации для контроля и управления в энергетике". – Харьков. – 1988. – С. 236-237. 6. Багмет О.Л., Машнева И.В., Себко В.В., Москаленко И.И. Расчет характеристик электромагнитного преобразователя температуры // Измерительная техника. – Харьков. – 1997. – № 1. – С. 57-60. 7. Себко В.П., Ду Хуан Янг Дифференциальный многопараметровый контроль цилиндрических изделий // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. – 1999. – Вып. 61. – С. 343-344. 8. Себко В.П., Сомхивева О.С. Определение ожидаемых значений сигналов дифференциального двухпараметрового преобразователя // Український метрологічний журнал. – Харків. – 2000. – Вип. 1. – С. 50-53. 9. Себко В.П., Кириченко С.Н. 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. 10. 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 "ХПИ". – 2000. – Вип. 12. – С. 403-406. 11. Себко В.В. Трансформаторный вихретоковый датчик с пластиной, зондируемой полем кратных частот // Український метрологічний журнал. – Харків. – 2007. – Вип. 2. – С. 26-29. 12. Дунаев Б.Б. Точность измерений при контроле качества. – К.: Техніка, 1981. – 150 с. 13. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

Надійшла до редколегії 19.10.2012

УДК 006.015.5

Повышение точности измерений и достоверности контроля параметров ферромагнитных плоских изделий при реализации многопараметрового метода на базе теплового дифференциального устройства. // Себко В. В., Бабенко В. Н., Себко В. П. / Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2012. – №47(953). – С. 239–245. Бібліогр.: 13 назв.

Досліджено можливість підвищення точності вимірювань та вірогідності контролю параметрів сталеві феромагнітної пластини за рахунок реалізації диференційного багатопараметрового вихорострумного метода.

Ключові слова: точність вимірювань, вірогідність контролю, плоский виріб, магнітна проникність, температура, сигнал, похибки вимірювань, амплітуда ЕРС, кут зсуву фаз, диференційний метод, тепловий перетворювач.

The possibility of improving the accuracy and reliability of the measurement parameters control the ferromagnetic steel plate through the implementation of multi-parameter differential eddy current method.

Key words: accuracy of measurement, reliability of control, plate article, magnetic permeability, temperature, signals, measurement error, amplitude of the EMF, angle out of phase, differential method, converter heat.

УДК 621.565.954

А. А. ШЕВЕЛЕВ, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,
А. Н. ТАРАСЕНКО, м.н.с., НТУ «ХПИ».

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ПРОТИВОТОЧНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Численным методом бегущего счета решена связанная система дифференциальных уравнений динамики рекуперативного противоточного теплообменника. Рассчитаны отклики входных температур потоков на экспоненциальный закон увеличения входной температуры греющего теплоносителя.

Ключевые слова: холодное прямое выдавливание с раздачей, силовые режимы, удельные усилия, качество профилей, трение, конечное формообразование.

© А. А. Шевелев, А. Н. Тарасенко, 2012