

УДК 05.13.06

В.В. СЕБКО

Национальный технический университет "ХПИ", Харьков, Украина

ВИХРЕТОКОВЫЙ МНОГОПАРАМЕТРОВЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПЛОСКИХ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Разработан безконтактный трёхпараметровый метод совместного измерительного контроля магнитных, электрических и температурных параметров слабоферромагнитных и ферромагнитных плоских изделий авиационного оборудования, который реализуется на базе теплового трансформаторного электромагнитного датчика (ЭД). Получены основные соотношения описывающие бесконтактный трёхпараметровый электромагнитный метод контроля параметров плоских изделий (стандартных деталей авиационного оборудования), позволяющий с точки зрения сертификации, контролировать компоненты третьего класса образца авиационной техники, которые влияют на лётную годность воздушных судов (ВС). Приведена последовательность измерительных и расчетных процедур совместного контроля намагниченности j , относительной магнитной проницаемости μ_r , удельного электрического сопротивления ρ_t и температуры t плоских изделий (стандартных и соединительных деталей авиационного оборудования).

Ключевые слова: авиационное оборудование, воздушные суда (ВС), совместный контроль, стандартные детали, электромагнитный датчик, трёхпараметровый электромагнитный метод, измерительный контроль, функции преобразования, алгоритм измерительного контроля.

Введение

В настоящее время особое значение приобретают методы и устройства неразрушающего контроля авиационного оборудования воздушных судов (ВС). К достоинствам методов неразрушающего контроля (НК) следует отнести: многократный контроль одного и того же изделия, автоматизацию процесса контроля, что позволяет применять их при активном сплошном контроле, контроль изделий в процессе эксплуатации и ремонте без нарушения режима их функционирования, контроль движущихся изделий и изделий нагретых до высоких температур. Следует отметить, что с точки зрения сертификации изделий и конструкций авиационного оборудования, важное значения приобретают те методы и устройства НК, которые позволяют определять параметры стандартных деталей соединительного оборудования и контролировать компоненты третьего класса образца авиационной техники. В связи с этим важным теоретический и практический интерес представляет развитие и совершенствование бесконтактных вихретоковых (электромагнитных) методов НК плоских изделий авиационного оборудования. К достоинствам электромагнитных методов можно отнести: возможность выявления поверхностных и подповерхностных трещин, неметаллических включений плоских и других деталей авиационного оборудования, авиационных двигате-

лей (например, реактивных и газотурбинных), технический контроль соединительного оборудования и стандартных деталей, а также измерительный контроль электромагнитных и физико-механических количественных параметров: относительной магнитной проницаемости μ_r , удельного электрического сопротивления ρ_t и температуры t при производстве деталей авиационного оборудования. Следует отметить также, что на сегодняшний день накоплен большой материал об измерительном контроле магнитных плоских изделий [1 – 11]. Так, например, в научных трудах [2 – 11] рассмотрены теоретические основы работы электромагнитных датчиков (ЭД) с немагнитными и ферромагнитными плоскими изделиями. В работах [4 – 6] рассмотрены методы и устройства для определения удельной электрической проводимости σ и магнитной проницаемости μ_r плоских изделий, а также определены погрешности измерений этих параметров, что составляет бесспорное достоинство методов описанных в работах [4 – 6]. В статьях [4 – 6], описаны в основном экстремальные методы определения магнитной проницаемости μ_r , удельной электрической проводимости σ ферромагнитных пластин, а также площади поперечного сечения S и удельной электрической проводимости σ немагнитных плоских изделий, получены универсальные функции преобразования, на основании которых разработаны электромагнитные двухпараметровые и трехпараметровые методы, проведен

анализ погрешностей измерений параметров плоских изделий в двух и трёхпараметровом варианте. К недостатком методов и устройств, описанных в работах [4 – 6], можно отнести то, что указанные параметры плоских образцов определялись без учёта температуры изделий, что в свою очередь, снижало точность измерений параметров μ_r и σ , не ясно воздействие пологости экстремума на результаты измерений электромагнитных параметров, оставлен без внимания частотный диапазон изменения магнитного поля зондирующего плоские изделия. Низкая точность измерений и чувствительность преобразователя к параметрам плоских изделий в работах [4 – 6], объясняется также и тем, что в качестве информативного сигнала ЭД, авторы работ [4 – 6], рассматривали ЭДС E_Σ и фазовый угол φ_0 , которые имели функциональную связь с параметрами немагнитных и магнитных плоских изделий, в этом случае был затруднён измерительный контроль электромагнитных параметров слабоферромагнитных плоских изделий. Измерение разностной ЭДС ЭД $E_{\text{вн}}$ и её фазы $\varphi_{\text{вн}}$, позволяет повысить точность измерений физико-механических параметров пластин [3].

В работе [7] описана методика пересчёта кривой намагничивания и петли гистерезиса, полученных на переменном токе в квазистатические магнитные характеристики плоских изделий, рассмотрен однопараметровый электромагнитный метод определения магнитных параметров плоских изделий на основе измерения $E_{\text{вн}}$, получены методические погрешности, обусловленные неоднородностью магнитного поля в сечении изделия и нелинейностью кривой намагничивания. Недостатком этой работы является то, что и напряжённость и магнитная проницаемость μ_r представляется в виде степенных рядов с ограничением по какому-то конечному члену и отсюда возникают приближённые соотношения, которые дают возможность перейти к не статическим, а к квазистатическим характеристикам. Другим серьёзным недостатком является то, что из количественных параметров пластин определяются только магнитные: намагниченность – j , магнитная восприимчивость – k и магнитная проницаемость – μ_r . Следует отметить также работы, в которых рассмотрены двухпараметровые методы контроля электрических и температурных параметров немагнитных плоских изделий: амплитудный, фазовый и переменного-частотный, при этом ферромагнитные плоские изделия так и остались без внимания в научных статьях [8, 9]. В работе [10] исследован экстремальный метод совместного определения параметров μ_r , σ и t плоского изделия. Недостатками работы [10] является то, что полученные соотношения являются весьма сложными и неточ-

ными, во время осуществления измерений необходимо уточнить частоту (при которой наступает экстремум функции преобразования), что затрудняет процесс автоматизации измерений параметров плоских изделий. Также не рассмотрена возможность расширения пределов измерений относительной магнитной проницаемости μ_{rT} плоских изделий.

Представляет большой теоретический и практический интерес научная статья [11], в которой описан многопараметровый электромагнитный метод измерительного контроля магнитных, электрических, геометрических и температурных параметров плоских изделий. Этот метод реализуется на базе теплового ЭД, работающего на кратных частотах магнитного поля. Измерение $E_{\text{вн}}$ и фазового угла $\varphi_{\text{вн}}$ на двух кратных частотах позволяло контролировать более широкий ассортимент плоских изделий, что является несомненным достоинством электромагнитного метода описанного в работе [11]. К недостаткам этого метода можно отнести необходимость проведения линейной интерполяции при определении магнитного параметра μ_r плоских изделий на универсальных функциях преобразования, что, в свою очередь, затрудняет автоматизацию измерительного контроля многих параметров плоских изделий. Таким образом, не смотря на то, что теория работы ЭД с немагнитными и ферромагнитными плоскими изделиями описана в работах [2 – 11], на сегодняшний день не рассмотрены вопросы повышения точности и чувствительности ЭД к параметрам плоских изделий, не исследованы теоретические основы определения переменных магнитных потоков и их фазовых углов внутри нагреваемого плоского изделия, не разработан электромагнитный метод измерительного контроля магнитных, электрических и температурных параметров, который позволял бы контролировать как слабоферромагнитные так и ферромагнитные плоские изделия авиационного оборудования на основании простых алгоритмов измерительных и расчётных процедур.

Поэтому, круг решения предстоящих задач коренным образом расширяется и усложняется, образуя важную научную и практическую проблему, суть которой состоит в создании теории работы тепловых ЭД для измерительного контроля параметров плоских деталей и изделий авиационного оборудования, что в свою очередь, даёт возможность контролировать компоненты третьего класса образца авиационной техники, которые влияют на летную годность ВС.

На сегодняшний день не разработаны специальные тепловые электромагнитные преобразователи, позволяющие контролировать ассортимент плоских изделий в широком диапазоне изменения их параметров. Тем не менее, запросы производства

авиационного оборудования и научно-исследовательских институтов настоятельно требуют решения указанных выше вопросов.

Таким образом, целью настоящей статьи является создание бесконтактного трёхпараметрового электромагнитного метода совместного измерительного контроля магнитных, электрических и температурных параметров слабоферромагнитных и ферромагнитных плоских изделий авиационного оборудования на базе теплового электромагнитного датчика ЭД.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Привести последовательность измерительных и расчётных процедур совместного контроля намагниченности j , относительной магнитной проницаемости μ_r , удельного электрического сопротивления ρ_t и температуры t слабоферромагнитных и ферромагнитных плоских образцов авиационного оборудования.

2. Получить основные соотношения, описывающие бесконтактный трёхпараметровый электромагнитный метод совместного измерительного контроля магнитных, электрических и температурных параметров слабоферромагнитных и ферромагнитных плоских изделий.

2. Совместный трёхпараметровый измерительный контроль параметров магнитных плоских образцов

Перейдём непосредственно к изложению материала. На рис. 1 с учётом результатов работ [1 – 11], представлена схема измерительного контроля магнитных, электрических и температурных параметров плоских образцов. Схема предусматривает предварительные измерения разностной ЭДС $E_{\text{внт}}$ и её фазы $\varphi_{\text{внт}}$, при изменении температуры контролируемой пластины в диапазоне от 20°C до 180°C , что, как уже отмечалось выше, позволяет повысить точность измерений электромагнитных параметров пластин, а также даёт возможность контролировать слабоферромагнитные плоские изделия. Схема включает в себя: ИСН – источник синусоидального напряжения, ИЧ – измеритель частоты, вольтметры V_1, V_2, V_3 . Тепловой ЭД включает в себя три идентичных электромагнитных преобразователя: РП – рабочий преобразователь, в котором конструктивно предусмотрено греющее устройство – ГУ; КП – компенсационный преобразователь, выполненный в виде вариометра для компенсации паразитной ЭДС E_1 (обусловленной прохождением магнитного потока в воздушном зазоре между П – контролируемой пластиной, которая размещается в ГУ и измеритель-

ной обмоткой РП); ОП – опорный преобразователь, предназначенный для измерения опорной ЭДС E_0 ЭД без контролируемой пластины. Намагничивающие обмотки РП, КП, ОП включены последовательно согласно, измерительные последовательно – встречно [4-9]. Числа витков измерительных обмоток одинаковы и подобраны таким образом, чтобы разностная ЭДС $E_{\text{внт}}$ на соединении, указанном на рис. 1, была равна нулю (при отсутствии пластины в РП). При внесении пластины в тепловой ЭД появляется разностная ЭДС $E_{\text{внт}} > 0$, которая измеряется вольтметром V_2 при разных температурах плоского изделия, в диапазоне $t = [20 \dots 180^\circ\text{C}]$ с конкретным шагом. Вольтметром V_3 регистрируется ЭДС E_0 . Фазовый угол $\varphi_{\text{внт}}$ между ЭДС E_0 и $E_{\text{внт}}$, измеряется фазометром Φ . Точками на схеме обозначены включения обмоток. В качестве контрольного метода определения температуры используются термометры сопротивления платиновые ТСП – которые наклеиваются непосредственно на пластину.

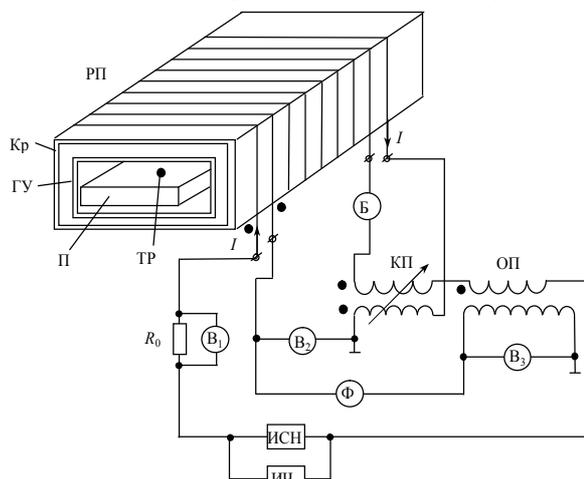


Рис. 1. Схема включения теплового ЭД с контролируемыми слабоферромагнитными пластинами

Температура внешней среды и температура ЭД (намагничивающая обмотка ЭД нагревается, а через тонкий каркас – КР и воздушный зазор между пластиной и обмоткой ЭД будет нагреваться контролируемое плоское изделие) может влиять на результаты измерений μ_r , σ и t пластин. Так как под влиянием температуры изменяется сопротивление намагничивающей обмотки ЭД, что, в свою очередь, приводит к изменению значений намагничивающего тока I_n и магнитного потока Φ , который проходит в контролируемом плоском образце и как следствие к погрешностям измерений параметров μ_r , σ_t и t плоского образца. Поэтому необходимо термоизолировать обмотки ЭД и заставить ток, сохранить постоянным величину намагничивающего

тока и магнитного потока Φ_2 в плоском образце. Для стабилизации тока используется бареттер – Б, который включается последовательно с намагничивающей обмоткой теплового ЭД.

Схема включения теплового ЭД, приведенная на рис. 2 [2-9], включает в себя генератор – Г синусоидальных сигналов, Ч – частотомер, два идентичных преобразователя РП и ОП. В данном случае компенсация эффектов воздушного зазора не проводится, считается, что измерительная обмотка наносится непосредственно на контролируемый плоский образец. Вольтметром V_1 регистрируется ЭДС $E_{\Sigma t}$ при разных температурах контролируемой пластины – П, которые изменяются с помощью ГУ. Амперметром измеряется ток I_n в намагничивающей обмотке, а фазометром регистрируется фазовый угол φ_{0t} между ЭДС E_0 и $E_{\Sigma t}$ [2-9]. Следует отметить, что сигналы теплового ЭД: $E_{внт}$ и $\varphi_{внт}$ (схема на рис. 1), а также $E_{\Sigma t}$ и φ_{0t} (рис. 2), зависят от температуры t . На рис. 3 представлены векторная диаграмма ЭДС и фазовых углов теплового ЭД. Здесь E_0 – опорная ЭДС ЭД без пластины; E_{Σ} – суммарная ЭДС ЭД; E_2 – ЭДС обусловленная прохождением магнитного потока в проводящем плоском изделии, E_1 – паразитная ЭДС.

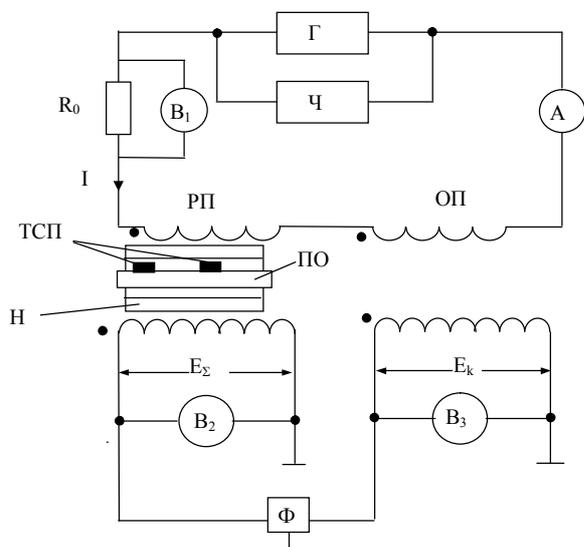


Рис. 2. Схема включения теплового ЭДС контролируемыми ферромагнитными плоскими изделиями

На диаграмме обозначены также фазовый угол φ_{0t} – угол между E_0 и $E_{\Sigma t}$ и угол $\varphi_{внт}$ – угол между E_0 и $E_{внт}$ [4-11].

Приведём последовательность измерительных и расчётных процедур совместного электромагнитного контроля параметров слабоферромагнитных и ферромагнитных плоских изделий.

Схема теплового ЭД на рис. 1, позволяет опре-

делить намагниченность плоских изделий, с учётом работ [4-7], по формуле

$$j = \frac{E_{\Sigma} - E_0}{\mu_0 w_n S 4,44 f}, \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, w_n – число витков измерительной обмотки; S – площадь поперечного сечения пластины; f – частота магнитного поля зондирующего плоское изделие, индекс t говорит о том, что данная величина зависит от температуры t .

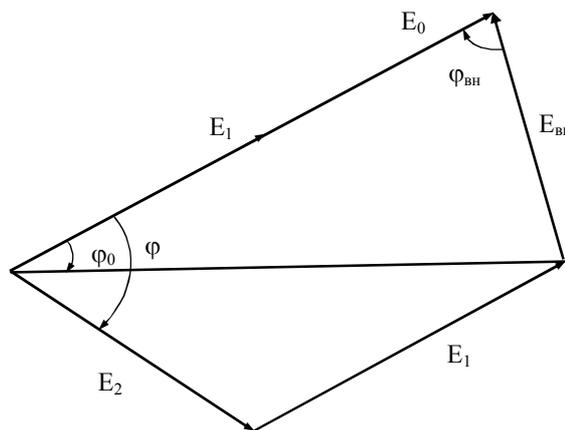


Рис. 3. Векторная диаграмма ЭДС и фазовых углов теплового ЭД с нагреваемой пластиной.

При известной напряжённости магнитного поля H внутри РП, можно определить магнитную восприимчивость k плоского образца

$$k = \frac{j I_d}{I_n w_n}, \quad (2)$$

где w_n – число витков намагничивающей обмотки; I_d – длина намагничивающей обмотки ЭД.

Для совместного контроля трёх параметров необходимо привести выражения для выходных сигналов теплового ЭД с плоским изделием.

Воспользовавшись векторной диаграммой на рис. 3 и применив известный символический метод операций с комплексными числами, запишем выражения для модуля ЭДС $|E_{\Sigma t}|$ и величины $\operatorname{tg} \varphi_0$ [4-11]

$$|E_{\Sigma t}| = \sqrt{E_{внт}^2 + E_0^2 - 2 E_{внт} E_0 \cos \varphi_{внт}}. \quad (3)$$

Величину $\operatorname{tg} \varphi_0$ находим из выражения [4-11]

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = - \frac{E_{внт} \sin \varphi_{внт}}{E_{внт} \cos \varphi_{внт} - \eta E_0}. \quad (4)$$

Формулы для определения ЭДС E_{2t} и фазового угла φ_t , можно записать

$$E_{2t} = \sqrt{E_{\Sigma t}^2 + E_0^2 - 2 E_{\Sigma t} E_0 \cos \varphi_t}; \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_t = - \frac{E_{\Sigma t} \sin \varphi_{0t}}{E_{\Sigma t} \cos \varphi_{0t} - E_0}. \quad (6)$$

Далее, если $k \leq 1$, находим удельное электрическое сопротивление ρ_t слабоферромагнитной пласти-

ны, предварительно определив параметр x_t из табл. 1,

Таблица 1

Зависимости компонентов сигналов теплового ЭД с контролируемой пластиной от обобщённого магнитного параметра x_t .

x_t	k_t	φ_t	$\operatorname{tg}\varphi_t$	x_t	k_t	φ_t	$\operatorname{tg}\varphi_t$
0	0	0	0	5,2	0,289461	42,938407	0,930507
0,2	0,951229	2,817043	0,049207	5,4	0,277905	43,448974	0,947274
0,4	0,904839	5,538592	0,096969	5,6	0,267057	43,896234	0,9521195
0,6	0,860718	8,164651	0,143473	5,8	0,256877	44,284033	0,975315
0,8	0,818759	10,695223	0,188866	6,0	0,247326	44,616358	0,986697
1,0	0,778868	13,130322	0,233265	6,2	0,238366	44,897298	0,996421
1,2	0,740952	15,469978	0,276761	6,4	0,229964	45,131001	1,004583
1,4	0,704923	17,714242	0,319415	6,6	0,222083	45,321638	1,0112907
1,6	0,670701	19,863199	0,361269	6,8	0,214691	45,473349	1,016661
1,8	0,638209	21,916977	0,402342	7,0	0,207755	45,590207	1,020817
2,0	0,607373	23,875764	0,442633	7,2	0,201245	45,676181	1,023886
2,2	0,578122	25,739819	0,482124	7,4	0,195133	45,735087	1,025994
2,4	0,550391	27,509494	0,520778	7,6	0,189391	45,770567	1,027266
2,6	0,5241137	29,185242	0,558543	7,8	0,1839991	45,786054	1,027822
2,8	0,499229	30,767647	0,595355	8,0	0,178909	45,784751	1,027885
3,0	0,475679	32,257433	0,631135	8,2	0,174124	45,769612	1,027232
3,2	0,453406	33,655492	0,665795	8,4	0,169611	45,743337	1,026899
3,4	0,432353	34,962897	0,699243	8,6	0,165351	45,708358	1,025037
3,6	0,412467	36,180924	0,731378	8,8	0,1613234	45,666848	1,023553
3,8	0,393697	37,311069	0,762102	9,0	0,157512	45,620719	1,021906
4,0	0,375992	38,355059	0,790174	9,2	0,153899	45,571631	1,020156
4,2	0,359301	39,314872	0,818924	9,4	0,150472	45,521008	1,018354
4,4	0,343579	40,192738	0,844848	9,6	0,147213	45,470049	1,016544
4,6	0,328779	40,991149	0,869016	9,8	0,144111	45,419747	1,014761
4,8	0,314855	41,712854	0,891371	10	0,141154	45,370902	1,013032
5,0	0,301763	42,360857	0,911873				

при использовании соответствующих функций преобразования [3-11], по формуле

$$\rho_t = \frac{x_t^2 \mu_0 (1+k) \pi f}{d^2}. \quad (7)$$

Определим среднюю по сечению изделия температуру слабоферромагнитной пластины, при из-

вестном температурном коэффициенте сопротивления (ТКС) α

$$t = \left(\frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \right) \left(\frac{x_t^2 \mu_0 (1+k) \pi f}{\rho_1 d^2} - 1 \right) + t_1. \quad (8)$$

Для определения относительной магнитной проницаемости μ_{rt} ферромагнитной пластины, т.е.

при условии, что $k \gg 1$ при измеренных значениях $E_{\Sigma t}$, E_{2t} , E_0 и φ_t , с учётом [3 – 11], воспользуемся выражением

$$\mu_{rt} = \frac{d_k h_k E_{2t}}{E_0 d h k_t}, \quad (9)$$

где k_t – зависящая от температуры нормированная величина ЭДС E_{2t} .

Величину ρ_t ферромагнитной пластины, находим из выражения

$$\rho_t = \frac{d_k h_k E_{2t} x_t^2 \mu_0 \pi f}{E_0 h k_t d^3}. \quad (10)$$

Температуру ферромагнитной пластины, определяем по формуле

$$t = \left(\frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \right) \left(\frac{d_k h_k E_{2t} x_t^2 \mu_0 \pi f}{\rho_t E_0 h k_t d^3} - 1 \right) + t_1. \quad (11)$$

Таким образом, при $k \gg 1$ мы переходим к схеме включения ЭД на рис. 2 и измерив $E_{\Sigma t}$, E_0 и φ_{0t} определяем фазовый угол φ_t по формуле (6), а затем, воспользовавшись табл. 1, определяем параметры x_t и k_t , после чего по формулам (9) – (11), находим относительную магнитную проницаемость μ_{rt} , удельное электрическое сопротивление ρ_t и среднюю по сечению температуру t ферромагнитных пластин.

Выводы

Результаты, приведенные в настоящей статье, позволяют определить круг задач для решения важной научной и практической проблемы, суть которой состоит в создании теории работы тепловых ЭД для измерительного контроля параметров плоских деталей и изделий авиационного оборудования, что в свою очередь, даёт возможность контролировать компоненты третьего класса образца авиационной техники, которые влияют на летную годность ВС.

В рамках решения этой проблемы предложен трёхпараметровый электромагнитный метод совместного измерительного контроля магнитных, электрических и температурных параметров слабоферромагнитных и ферромагнитных плоских изделий авиационного оборудования на основе двух схем включения теплового ЭД с контролируруемыми плоскими изделиями. Приведена последовательность измерительных и расчётных процедур совместного контроля намагниченности j , удельного электрического сопротивления ρ_t и температуры t слабоферромагнитных пластин, а также относительной магнитной проницаемости μ_{rt} , удельного электрического сопротивления ρ_t и температуры t ферромагнитных пластин. Получены основные соотношения для определения магнитных, электрических и темпера-

турных параметров, контролируемых магнитных плоских изделий.

Научной новизной статьи является разработанный трёхпараметровый метод электромагнитного контроля параметров плоских изделий и стандартных деталей авиационного оборудования, который реализуется на основании двух схем включения теплового ЕД.

Практическое значение статьи состоит в том, что предложенный трёхпараметровый электромагнитный метод, позволяет контролировать изделия и стандартные плоские детали, как в процессе производства так и при планируемом ремонте.

Перспективы дальнейших исследований состоят в создании вихреговых методов и реализующих их устройств на основе накладных преобразователей для измерения толщин гальванических покрытий, лакокрасочных и специальных покрытий, контроля поверхностей недоступных участков соединений авиационного оборудования, дефектов и расслоений цилиндрических и плоских деталей выполненных из немагнитных и ферромагнитных материалов.

Литература

1. Кифер И.И. Испытания ферромагнитных материалов/ И.И. Кифер. – М.: Энергия, 1969. – 360 с.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справ. / под ред. В.В. Клюева. – Кн. 2. – М.: Машиностроение, 1986. – 351 с.
3. Гончаров Б.В. Безэталонные токовихревые методы контроля тонкостенных неферромагнитных труб/ Б.В. Гончаров. // Труды Научно-исследовательского института интроскопии: сб. науч. тр. – М.: Интроскопия, 1970. – Вып. 3. – С. 76-80.
4. Себко В.П. К теории работы трансформаторного электромагнитного преобразователя с плоским проводящим изделием / В.П. Себко, Р.И. Кириченко // Технічна електродинаміка. – 2000. – Ч. 1. – С. 93-98.
5. Себко В.П. Электромагнитный метод определения двух параметров плоского изделия на основе экстремума фазового угла преобразователя / В.П. Себко, Р.И. Кириченко // Наукові праці III-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія 2002)". – Харків. – 2002. – С. 129-132.
6. Себко В.П. Трёхпараметровый электромагнитный преобразователь с плоским изделием на основе максимальной фазы суммарной ЭДС/ В.П. Себко, С.Г. Львов, О.Ю. Отман Шади // Технічна електродинаміка. – 2003. – Ч. 1. – С. 117-120.
7. Глоба С.Н. Универсальное электромагнитное устройство для контроля разомкнутых стальных пластин/ С.Н. Глоба // Вестник Харьковского государственного политехнического университета: сб. науч. тр. – Харьков: ХГПУ. – 1999. – Вып. 37. – С. 28-30.
8. Себко В.П. Амплитудный и фазовый методы определения температуры электромагнитным преобразователем с плоским изделием / В.П. Себко, Хассан Муссу Диаб // Технічна електродинаміка. – 2002. – Ч. 3. – С. 109-112.
9. Себко В.П. Переменно-частотный электромагнитный метод бесконтактного определения удельного электрического сопротивления и температуры плоского изделия / В.П. Себко, Хассан Муссу Диаб // Матеріали конференції "Неруйнівний контроль та технічна діагностика". – К., 2003. – С. 54-59.
10. Расчет относительных погрешностей измерения магнитных, электрических и температурных параметров плоского ферромагнитного изделия с помощью ТЭД, реализующего экстремальный вихреговой метод / В.В. Себко, Е.Л. Ноздрачева, Хассан Муссу Диаб, Алаа Файад Макки, Ю.А. Вараксин // Наукові праці V-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2006)". – Харків. – 2006. – Т. 2. – С. 221-226.
11. Себко В.В. Трансформаторный вихреговой датчик с пластиной, зондируемой полем кратных частот / В.В. Себко // Український метрологічний журнал. – 2007. – Вип. 2. – С. 26-29.

Поступила в редакцию 28.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, доц., проф. каф. «ГИС и геодезии» К.А. Метешкин, Харьковская национальная академия городского хозяйства, Харьков.

ВИХОРОСТРУМОВИЙ БАГАТОПАРАМЕТРОВИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ПЛОСКИХ ВИРОБІВ АВІАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

В.В. Себко

Розроблено безконтактний трипараметровий електромагнітний метод сумісного вимірювального контролю магнітних, електричних та температурних параметрів слабоферомагнітних і феромагнітних плоских виробів авіаційного обладнання, який реалізується на базі теплового трансформаторного електромагнітного давача (ЕД). Отримано основні співвідношення, що описують безконтактний трипараметровий електромагнітний метод контролю параметрів плоских виробів (стандартних деталей авіаційного обладнання), який дозволяє з точки зору сертифікації, контролювати компоненти третього класу зразка авіаційної техніки, що мають вплив на льотну придатність повітряних суден (ПС). Наведено послідовність вимірювальних і розрахункових процедур сумісного контролю намагнетченості j , відносної магнітної проникності μ_r , питомого електричного опору ρ_t і температури t плоских виробів (стандартних і з'єднувальних деталей авіаційного обладнання).

Ключові слова: авіаційне обладнання, повітряні судна, сумісний контроль, стандартні деталі, електромагнітний давач, трипараметровий електромагнітний метод, вимірювальний контроль, функції перетворення, алгоритм вимірювального контролю.

MULTIPARAMETER VORTEX CURRENT CONTROL METHOD FOR AVIATION EQUIPMENT'S PLANAR PRODUCT

V.V. Sebko

For magnetic, electrical and temperature parameters ferromagnetic and weaker ferromagnetic plane objects for aviation equipment has been developed that is implemented on the basis of thermal electromagnetic and transformer sensor ED. Basic correlation describing non-contact three-parametric electromagnetic consistent control method for plane object's parameters (standard aviation equipment's component) has been derived which allows, from certification point of view, control third-class components for aviation engineering forms which affect aircraft's flight performance. Measurement sequence and computation procedure of magnetization's consistent control j , relative to magnetic permeability μ_r , electrical resistivity ρ_t , and temperature t for plane object (standard and connecting plane object for aviation equipment).

Key words: aviation equipment, aircraft, consistent control, standard object, electromagnetic sensors, three-parametric electromagnetic method, measurement control, conversion function, measurement control algorithm.

Себко Вадим Вадимович – д-р техн. наук, доц., проф. кафедри «Химическая техника и промышленная экология», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: Sebkov@mail.ru.