

- зерной установки при гравировании изделий из кожи. // XVII Всероссийская научно-практическая конференция и смотр-конкурс творческих работ по направлению подготовки «Технология художественной обработки материалов»: сборник научных трудов. - Иркутск: ИрГТУ, 2015.- С 400-407
6. Усольцева А.В., Черных М.М., Усольцев В.П. Исследование лазерного гравирования изделий из кости // «Молодые ученые – ускорению научно – технического прогресса в XXI веке. Сборник материалов II Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием (Ижевск, 22 – 23 апреля 2015 г.), – Ижевск: Издательство ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2015. – С 713 – 721.
7. Усольцева А.В., Усольцев В.П. Особенности лазерного гравирования изделий из кожи // «Приборостроение в XXI веке – 2014. Интеграция науки, образования и производства: Сборник материалов X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием (Ижевск, 12 – 14 ноября 2014 г.), – Ижевск: Издательство ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2015. – С 522 – 524.

УДК 620.179.14

ВЛИЯНИЕ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ДВУХСЛОЙНОГО ОБРАЗЦА НА ФАЗУ ВНОСИМОЙ ЭДС НАКЛАДНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Чернышев А.В.

Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

При контроле вихретоковым толщиномером толщины верхнего слоя двухслойной структуры, состоящей из проводящего немагнитного покрытия, расположенного на проводящем основании (подложке), наиболее эффективным является контроль, основанный на измерениях фазы φ вносимой ЭДС накладного преобразователя [1]. Фаза зависит от параметров преобразователя, частоты тока возбуждения и от удельных электрических проводимостей покрытия σ_1 и основания σ_2 , а также относительной магнитной проницаемости основания μ_2 , если оно магнитное. На практике обычно наблюдаются вариации величин σ_1 , σ_2 , μ_2 при перемещении от точки к точке на поверхности контролируемого объекта или при переходе от одного объекта контроля к другому. Это приводит к вариациям величины φ при неизменном значении толщины покрытия d , то есть вызывает определенную погрешность при измерениях толщины покрытия вихретоковым методом.

В докладе приведены результаты численных расчетов зависимости фазы вносимой ЭДС измерительной катушки преобразователя от d , полученные при различных значениях σ_1 и при фиксированных величинах σ_2 и μ_2 . Расчет проведен по аналитическим выражениям работы [2]. Схема расположения катушек поля возбуждения и измерительной накладного вихретокового преобразователя, находящегося над двухслойным объектом контроля, показана на рисунке 1.

Сначала расчет проведен при значении $\sigma_1 =$

$= 5,291 \text{ МСм/м}$ (что примерно соответствует электропроводности хрома, обозначим это значение как σ_{10}), $\sigma_2 = 11,5 \text{ МСм/м}$ и $\mu_2 = 100$, что примерно соответствует электропроводности и относительной магнитной проницаемости никеля. Амплитудное значение тока возбуждения принято равным 1А, радиусы обоих витков равны 0,002 м, расстояние h от витка поля возбуждения до поверхности объекта контроля составляет 0,001 м, измерительный виток расположен на середине этого расстояния. Расчеты проведены при двух различных частотах F тока возбуждения преобразователя. Следует отметить, что расчетные данные находятся в соответствии с экспериментальными.

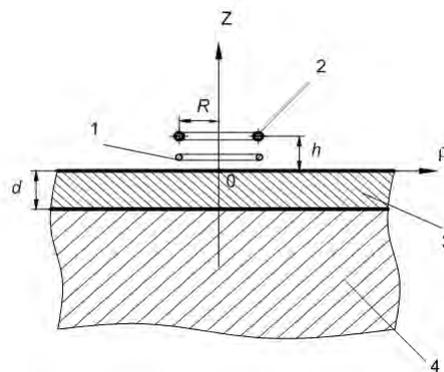
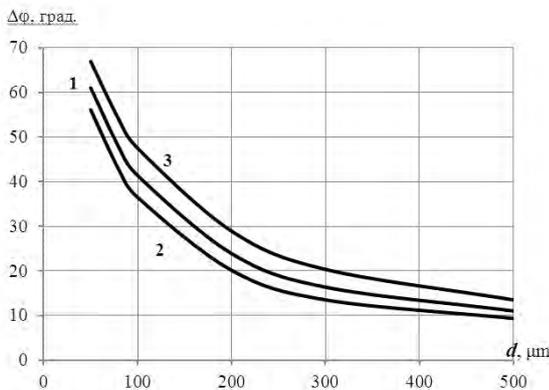


Рисунок 1 – Витки над проводящей двухслойной средой:

1 – измерительный виток, 2 – виток поля возбуждения, 3 – проводящее покрытие, 4 – проводящая магнитная подложка

Рассмотрим результаты расчетов, полученные

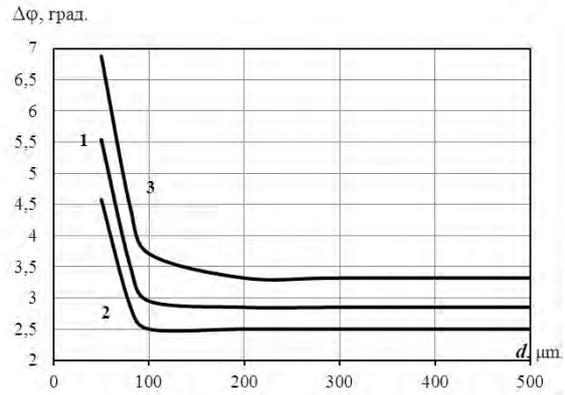
при частоте тока возбуждения преобразователя $F=300$ кГц, они представлены на рисунке 2 кривой 1. По вертикальной координатной оси указаны не значения φ , а абсолютное значение разности $\varphi - \varphi_{Cu}$, где φ_{Cu} – фаза вносимой ЭДС при расположении того же преобразователя (при прежнем значении F) над полупространством из меди электропроводность меди принята равной $58,1$ МСм/м. Абсолютное значение разности $\varphi - \varphi_{Cu}$ обозначено $\Delta\varphi$. Цифрой 2 на рисунке 2 обозначена зависимость $\Delta\varphi$ от d , полученная при величине σ_1 , превышающей значение σ_{10} на 20%, а цифрой 3 – зависимость $\Delta\varphi$ от d , полученная при величине σ_1 , меньшей значения σ_{10} на 20%. Из рисунка 2 видно, что при указанных вариациях σ_1 относительно значения σ_{10} вариации $\Delta\varphi$ максимальны при максимальном значении d и достигают при этом примерной той же величины 20%. Для вихретокового толщиномера наибольшую важность имеет вопрос выяснения влияния вариаций величины σ_1 на погрешность определения толщины верхнего слоя d . Из рисунка 2 видно, что и в этом случае вариации величины σ_1 относительно σ_{10} на 20% в сторону уменьшения или увеличения приводят к возникновению относительной погрешности Δd при определении d , (относительно истинного значения, определяемого из зависимости, представленной кривой 1 на рисунке 2), примерно равной 20%.



1 - $\sigma_1 = 5,291$ МСм/м; 2 - $\sigma_1 = 6,3492$ МСм/м;
3 - $\sigma_1 = 4,2328$ МСм/м

Рисунок 2 – Зависимость $\Delta\varphi$ от d при $F=300$ кГц

Теперь рассмотрим результаты расчета аналогичных зависимостей $\Delta\varphi$ от d , полученных при $F=5,8$ МГц. Они приведены на рисунке 3.



1 - $\sigma_1 = 5,291$ МСм/м; 2 - $\sigma_1 = 6,3492$ МСм/м;
3 - $\sigma_1 = 4,2328$ МСм/м

Рисунок 3 – Зависимость $\Delta\varphi$ от d при $F=5,8$ МГц

Из сравнения рисунков 2 и 3 видно, что при $F=5,8$ МГц чувствительность φ к толщине верхнего слоя наблюдается только для относительно малых d (ввиду скин-эффекта). Из рисунка 3 видно, что при толщинах d , превышающих 150 мкм, увеличение σ_1 относительно значения σ_{10} на 20% приводит к уменьшению $\Delta\varphi$ примерно на 12%. Уменьшение же σ_1 относительно σ_{10} на 20% приводит к увеличению $\Delta\varphi$ примерно на 16%. В интервале толщин покрытия 50÷80 мкм вариации величины σ_1 относительно значения σ_{10} на 20% в сторону уменьшения или увеличения приводят к возникновению относительной погрешности Δd примерно равной 16% (истинное значение толщины d находят из кривой 1 на рисунке 3).

Из приведенных результатов видно, что наличие вариаций электропроводности верхнего слоя двухслойного образца приводит к возникновению погрешности определения толщины этого слоя измерением величины $\Delta\varphi$, которая может оказаться больше допустимой для контролируемой детали. Уменьшить эту погрешность можно посредством измерения и последующего учета, при анализе измеренного значения φ , электропроводности верхнего слоя. Для этого необходимо провести измерения φ на такой относительно высокой частоте, чтобы на результаты не оказало влияние присутствие у двухслойного объекта контроля проводящей подложки.

Рассмотрим на конкретном примере, представленном на рисунке 3, с какой точностью надо проводить такие измерения. Из рисунка следует, что при $F=5,8$ МГц и $d \geq 200$ мкм наличие подложки не оказывает влияния на результаты измерений φ (вихревые токи с такой глубины не приводят к заметному влиянию на фазу вносимой ЭДС преобразователя). При этом увеличение σ_1 на 20% относительно эталонного зна-

чения σ_{10} приводит к изменению φ на $0,35^\circ$.

В разрабатываемых нами толщиномерах достигается возможность измерения φ с точностью $0,1^\circ$ при частотах сигнала до 8 МГц. Из вышесказанного следует, что по измерениям φ можно зафиксировать отклонения величины σ_1 от σ_{10} , составляющее $20\%/3,5 \approx 5,7\%$. Как было показано выше, при $F=5,8$ МГц увеличение σ_1 на 20% относительно σ_{10} приводит к возникновению погрешности определения d , равной 16%. Следовательно, в рассматриваемом случае увеличение σ_1 на 5,7% (то есть то, что мы можем зафиксировать при измерениях φ прибором) приведет к по-

грешности определения d , равной 4,6%. Достичь уменьшения указанной погрешности измерения d возможно лишь за счет повышения точности измерения фазы вносимой ЭДС вихревого преобразователя.

1. Рубин А.Л., Пахомова В.Г., Реакция ферромагнитного полупространства с немагнитным слоем на датчик накладного типа // Дефектоскопия. – 1974. – №3. – С. 36-40.
2. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики. – Новосибирск: Наука, 1967. – 144 с.

УДК 53.088.6

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПО КРЕНУ ОБЪЕКТОВ

Шведов А.П., Лихошерст В.В.

Тульский государственный университет

Тула, Российская Федерация

Интерес представляет задача измерения угловой скорости крена малоразмерных объектов, вращающихся с большой угловой скоростью по углу крена.

На малогабаритных объектах в диапазоне угловых скоростей свыше 2000 – 4000 градусов/с целесообразно использовать измерительную схему, реализуемую с помощью двух встречно направленных акселерометров, разнесенных относительно оси вращения [1].

Погрешность определения угловой скорости с помощью двух акселерометров обусловлена погрешностью самих датчиков, а также погрешностью установки датчиков относительно продольной оси изделия.

Вопросы, связанные с компенсацией погрешности коэффициента передачи, уровня нулевого сигнала, нелинейности подробно изложены в работе [2], поэтому их рассматривать не будем.

Учет погрешностей перекрестной чувствительности и рассогласования осей осуществляется за счет применения акселерометров, оси чувствительности которых ориентированы перпендикулярно к измерительным.

Можно показать, что в данном случае важна лишь взаимная ориентация осей, а не их расположение относительно корпуса, так как в противном случае, при наличии поперечных вибраций, в сигнале угловой скорости будут наблюдаться существенные пульсации. Поэтому при определении отклонения осей одну из осей датчика будем считать совпадающей с одной из осей связанной системы координат (рисунок 1).

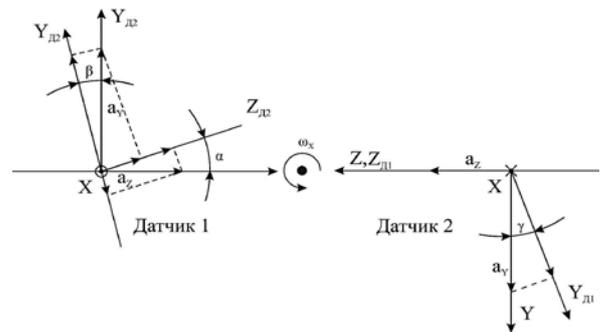


Рисунок 1 – К определению углов рассогласования осей датчиков

В этом случае показания датчика 1 и 2 связаны с проекциями ускорения на оси связанной системы координат по выражениям:

$$\begin{cases} a_Z = \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - \beta)} a_{ZД2} - \frac{\sin \alpha}{\cos(\alpha - \beta)} a_{YД2}, \\ a_Y = \frac{\sin \beta}{\cos(\alpha - \beta)} a_{ZД2} + \frac{\cos \beta}{\cos(\alpha - \beta)} a_{YД2}, \\ \begin{cases} a_Z = a_{ZД1}, \\ a_Z = a_{ZД1} \operatorname{tg} \gamma + \frac{a_{YД1}}{\cos \gamma}, \end{cases} \end{cases}$$

где a_Y, a_Z – проекции ускорения на оси Y и Z связанной системы координат; $a_{YД2}, a_{ZД2}$ – проекции ускорения на оси чувствительности датчика 1 $Y_{Д2}$ и $Z_{Д2}$; $a_{YД1}, a_{ZД1}$ – проекции ускорения на оси чувствительности датчика 2 $Y_{Д1}$ и $Z_{Д1}$;

Определение углов α, β, γ реализуется по одной из методик, описанных в [2].