

Раздел I. ПЕРВИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ

Л. Е. ПОЧИНОК, В. Д. ФАЛКИН

ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ ЛИСТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ПРОЦЕССЕ РАЗМЕРНОГО ХИМИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ ДОСТУПЕ

В настоящее время широкое распространение в машиностроении получил метод химического фрезерования. По сравнению с механической обработкой химическое фрезерование рентабельнее, но агрессивная среда (раствор щелочи) и значительный технологический диапазон температуры (20—80)°С создают определенные трудности при использовании измерительных устройств контроля размеров деталей. Задача измерения осложняется также тем, что в результате технологической нестабильности температуры наблюдается переходный процесс, время которого определяется температурными характеристиками чувствительных датчиков и их крепежных устройств и может составлять 50% от времени технологической обработки деталей.

Измерительная схема устройства представлена на рис. 1, а. Напряжение прямоугольной формы с частотой $f=150$ гц от генератора подается на измерительную схему, состоящую из базового I и измерительного II токовихревых датчиков, которые дифференциально включены на мостовую фазочувствительную схему с кольцевым выпрямительным преобразователем. Напряжение с выхода измерительной схемы подается на магнитоэлектрический индикатор. В качестве токовихревых преобразователей применены накладные датчики с магнитопроводом, представленные на рис. 1, б.

Несмотря на широкое использование накладных датчиков с магнитопроводом, работ, посвященных анализу таких датчиков весьма мало. Непосредственно связанными с указанным вопросом являются, по-видимому, работы [1] и [2].

В [1] на основе решения задачи о поле датчика с магнитопроводом в присутствии проводящего образца предложены зависимости для расчета вносимой в датчик проводимости. Однако авторы не приводят полных таблиц полученных функций, и поэтому использовать результаты этой работы практически невозможно.

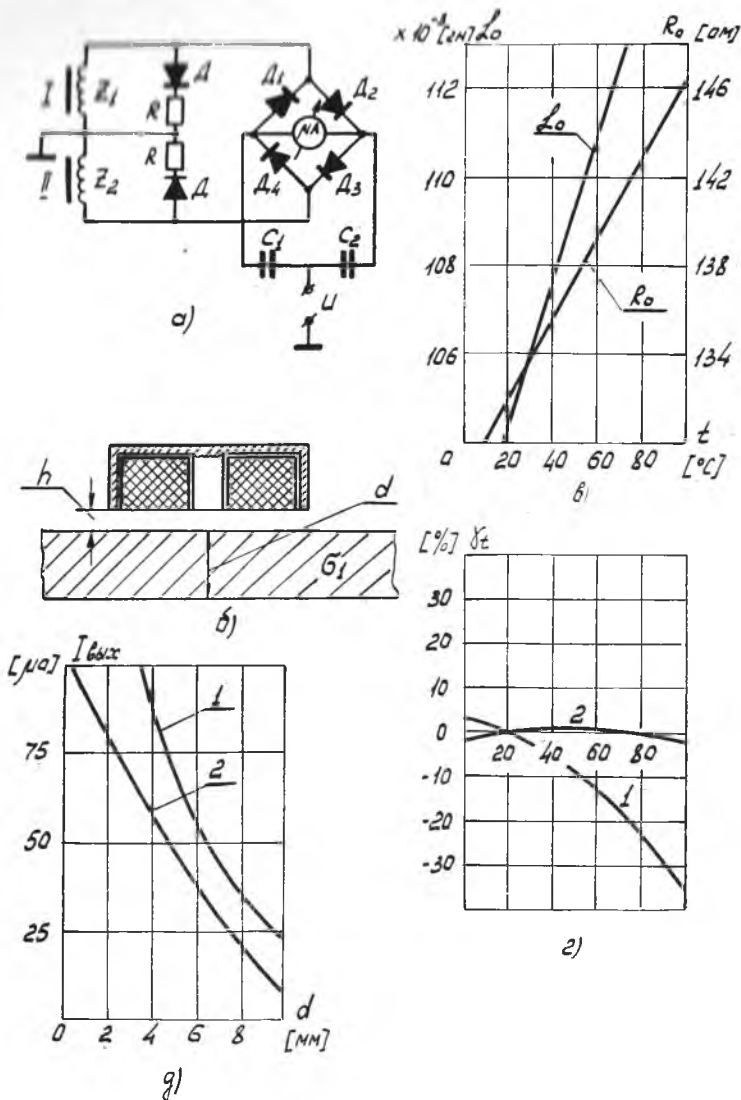


Рис. 1. а — принципиальная схема измерительного устройства; б — накладной токовихревой датчик; в — зависимость параметров токовихревого датчика от температуры; г — температурная погрешность измерительного устройства (1 — без компенсации; 2 — с компенсацией температурной погрешности); д — зависимость выходного тока измерительного устройства

$$I_{\text{ВЫХ}} = V(d)$$

В работе [2] предлагается несколько иной подход к указанной проблеме, основанной на приближенном решении задачи о поле датчика. Показано, что реакция проводящей слоистой среды на катушку с током I приближенно эквивалентна воздействию зеркального изображения этой же катушки с током

$$I \varphi_1(\lambda) \Big|_{\lambda = \frac{3}{2R_3}}, \quad (1)$$

где $\varphi_1(\lambda)$ — функция, являющаяся приближением точного решения задачи о поле датчика;

λ — постоянная преобразования;

R_3 — эквивалентный радиус катушки датчика.

Выражение для полного сопротивления датчика с магнитопроводом, находящегося над проводящей слоистой средой, согласно [2] будет иметь

$$Z = Z_n + Z_{вн} = Z_n + j \omega M \varphi_1(\lambda) \Big|_{\lambda = \frac{3}{2R_3}}, \quad (2)$$

где Z_n и $Z_{вн}$ — начальное и вносимое сопротивления токовихревого преобразователя;

ω — частота тока датчика;

M — коэффициент взаимной индукции между катушкой с магнитопроводом и ее зеркальным изображением.

В выражении (2) вносимое сопротивление

$$Z_{вн} = j \omega M \varphi_1(\lambda) \Big|_{\lambda = \frac{3}{2R_3}}. \quad (3)$$

Как известно из [2], M является экспоненциальной функцией зазора — h , (рис. 1,б)

$$M = M_0 \cdot e^{-\frac{3h}{R_3}}, \quad (4)$$

где M_0 — значение коэффициента взаимной индукции между катушкой с магнитопроводом датчика и ее зеркальным изображением при нулевом зазоре.

Значение M_0 может быть определено экспериментально, как показано в работе [3]. Зная M_0 , определим из выражения (4) эквивалентный радиус — R_3 .

При измерении толщины исследуемого листа из алюминиевых сплавов в процессе химического фрезерования имеем двухслойную проводящую среду [3], состоящую из измеряемого листа и раствора щелочи.

Для анализа накладного параметрического датчика необходимо определить функцию φ_1 для выражения вносимого со-

противления (3). Согласно [2], [3] для двухслойной среды можно получить

$$\varphi_1 = \frac{\mu_1 \sqrt{1 + j0,444 \beta^2} \cdot (\mu_2 - 1) + [\mu_1^2 - \mu_2 (1 + j0,444 \beta^2)] th}{\mu_1 \sqrt{1 + j0,444 \beta^2} \cdot (\mu_2 + 1) + [\mu_2^2 + \mu_2 (1 + j0,444 \beta^2)] th} \times \\ \times \frac{1,5 \frac{d}{R_3} \sqrt{1 + j0,444 \beta^2}}{1,5 \frac{d}{R_3} \sqrt{1 + j0,444 \beta^2}}, \quad (5)$$

где $\beta = R_3 \sqrt{\omega \sigma_1 \mu_0 \mu_1}$,

σ_1 — электропроводность измеряемого листа;
 μ_0, μ_1, μ_2 — соответственно относительные магнитные проницаемости пустоты, материал измеряемого листа и раствора;
 d — толщина измеряемого листа из алюминиевых сплавов.

В работе [3] показано, что электропроводность раствора весьма мала ($\sigma_1 \gg \sigma_2$), поэтому в зависимости (5) она отсутствует. Кроме того, можно считать, что контролируемые материалы не ферромагнитные. Тогда $\mu_1 = \mu_2 = 1$, а выражение (5) примет вид

$$\varphi = \frac{2\beta^2 th \frac{d}{2R_3} \sqrt{9 + j4\beta^2}}{3 \sqrt{9 + j4\beta^2} + (9 + j2\beta^2) th \frac{d}{2R_3} \sqrt{9 + j4\beta^2}}, \quad (6)$$

где $\varphi = j\varphi_1$.

Зависимости (6) рассчитаны на ЭВМ Урал-2 и значения сведены в графики (рис. 2, а, б, в).

Для рассматриваемого диапазона изменений $\alpha = \frac{2d}{R_3}$ и β семейство кривых, изображающее поведение функции $\varphi(\alpha, \beta)$ на комплексной плоскости, приведено на рис. 2, а.

На рис. 2, б соответственно представлены активная $R_e \varphi = f_1(\alpha, \beta)$ и реактивная $I_m \varphi = f_2(\alpha, \beta)$ составляющие функции φ .

Зависимости $R_e \varphi = f_1(\alpha, \beta)$ и $I_m \varphi = f_2(\alpha, \beta)$ позволяют целесообразно выбрать эквивалентный радиус датчика R_3 и частоту питающего тока ω , для чего по заданному диапазону измерения (d_{\max}, d_{\min}) определяется характеристика, обеспечивающая достаточную линейность и чувствительность измерений.

Необходимо отметить, что с увеличением разности ($d_{\max} - d_{\min}$) приходится переходить на кривые с меньшим β , что резко уменьшает чувствительность датчика. Поэтому заданный

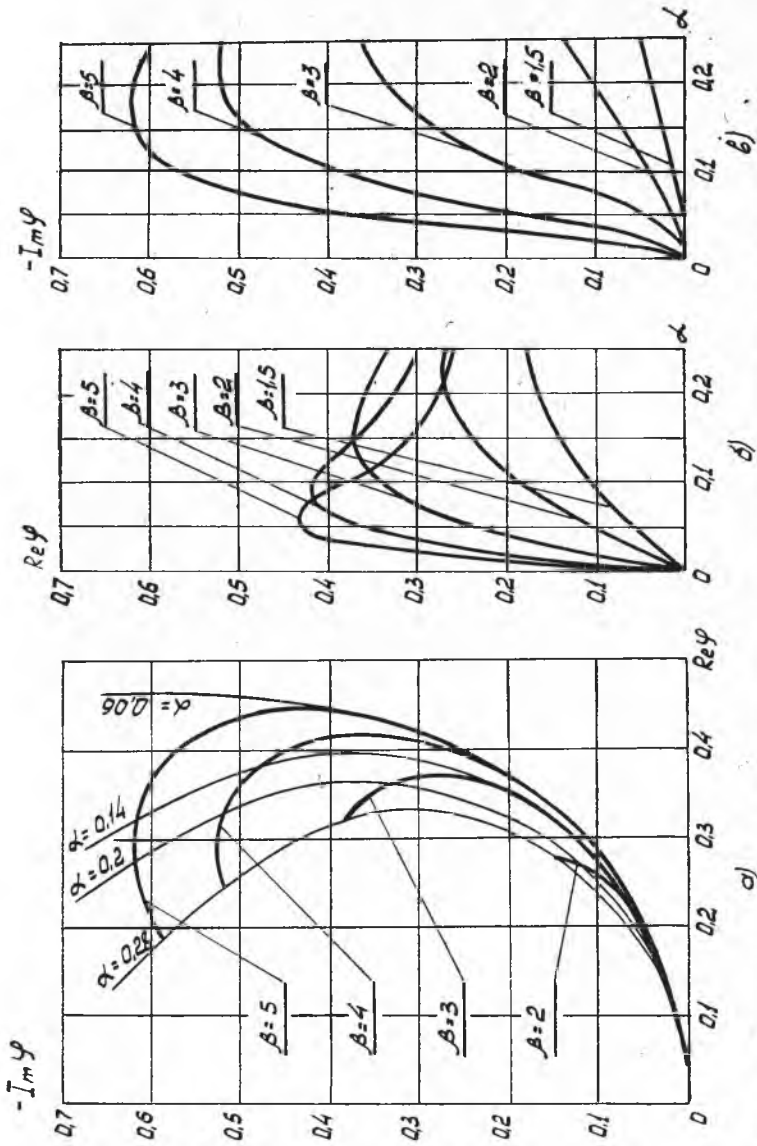


Рис. 2. Зависимости для выбора оптимальных параметров токовых преобразователя

диапазон может быть разбит на несколько поддиапазонов с различными частотами питающего тока ω_1 , ω_2 и т. д. или же используются несколько датчиков с различными R_3 .

Итак, после выбора кривой становятся известными α и β . Отсюда

$$R_3 = \frac{2d_{\max}}{\alpha}. \quad (7)$$

Если R_3 , рассмотренный по (7), велик, то необходимо перейти на кривую с меньшим β .

Зная R_3 , определяем частоту питающего тока

$$\omega = \left(\frac{\beta}{R_3}\right)^2 = \frac{1}{\sigma_1 \mu_0}. \quad (8)$$

Как известно из [2], токовихревым преобразователям свойственны погрешности. Наиболее трудноустранимой является температурная погрешность. Анализ выражения (2) позволяет сделать вывод, что явно выразить эту зависимость весьма сложно.

Температурная зависимость токовихревого накладного датчика является функцией температурных изменений начального сопротивления датчика Z_n с магнитопроводом и изменений вносимого сопротивления от температуры.

На рис. 1, в представлены зависимости $L_0 = f(t^\circ C)$ и $R_0 = f(t^\circ C)$, которые, как видно из графика, практически являются линейными функциями от температуры. Здесь приведены результаты исследования токовихревого преобразователя с магнитопроводом из «Армко».

В отличие от температурных изменений полного сопротивления (рис. 1, в) аналогичные изменения вносимых сопротивлений, как видно из анализа рис. 2 б, в, имеют более сложный характер.

С другой стороны, изменения параметров датчика от температуры могут в ряде случаев даже превышать полезные изменения их от измеряемого фактора.

Для уменьшения возникшей в этом случае температурной погрешности (рис. 1, г, кривая 1) авторами предложены специальные корректирующие цепи, включенные параллельно датчикам (рис. 1, а) и состоящие из резистора R и диода D . Назначение корректирующих цепей сводится к саморегулированию индуктивности обмоток датчиков при изменении сопротивления датчиков от температуры. Регулирование индуктивности датчиков основано на следующем принципе. Собственная индуктивность датчика L_0 при наличии магнитопровода, замкнутого на измеряемый лист из алюминиевого сплава, получает зависимость $L_0 = f_1(H_0)$, так как магнитная проницаемость магнитопровода имеет зависимость от напряженности магнитного поля $\mu = f_2(H_0)$.

При нормальной температуре диодная корректирующая цепь позволяет получить постоянную составляющую, которая определяет начальную магнитную проницаемость μ^1 . При повышении температуры возрастает полное сопротивление токовихревого преобразователя и, как следствие этого, — напряжение на нем, которое увеличивает постоянную составляющую в цепи каждого преобразователя. Последнее обстоятельство приводит к уменьшению μ , в результате чего уменьшится и собственная индуктивность L_0 . В итоге снизится напряжение на токовихревом преобразователе. При понижении температуры восстановление напряжения произойдет в обратном порядке.

Предложенное саморегулирование параметров токовихревого преобразователя позволяет значительно снизить температурную погрешность (рис. 1, г, 2). Дальнейшее уменьшение погрешности в значительной степени зависит от начальной идентичности датчиков. В результате использования фазочувствительного кольцевого преобразователя и корректирующих элементов основная погрешность измерительного устройства не превышает $\pm 3\%$.

Дополнительно следует отметить, что благодаря воздействию корректирующих цепей выходная зависимость $I_{\text{вых}} = F(d)$ приобретает более линейный характер (рис. 1, д, 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Russel F. I., Schuster V. E., Weidelich D. L. *Communication and Electronics*, 1962, 9, p. 232.

2. Соболев В. С., Шкарлет Ю. М. Накладные и экранные датчики. Изд. «Наука», 1937.

3. Починок Л. Е., Федоров М. А., Фалкин В. Д. Автоматическое измерительное устройство для контроля размеров деталей в процессе химического фрезерования. Сб. «Приборы и устройства автоматического управления и контроля». Пенза, 1970.

Ю. Н. СЕКИСОВ

АНАЛИЗ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО ПО МЕТОДУ «НАЧАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДНОЙ»

В существующих измерительных устройствах с индуктивными первичными преобразователями (ПП) для получения информации об измеряемой величине используется в основном квазиустановившееся значение выходного сигнала. Переходные процессы, неизбежные при изменении измеряемого параметра, существенно ограничивают быстродействие измерительных преобразователей (ИП), [1].