

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАГНИТОИНДУКЦИОННОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ

Сясько В.А., Ивкин А.Е., Васильев А.Ю.

ООО «Константа», Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: 9334343@gmail.com, ivkin@constanta.ru, vasilev.ay@bk.ru

В условиях современного промышленного производства важной задачей является контроль качества защитных и функциональных покрытий, в частности, контроль их толщины. Один из основных методов контроля толщины неметаллических и металлических неферромагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях и ферромагнитных покрытий на неферромагнитных основаниях является магнитоиндукционный метод.

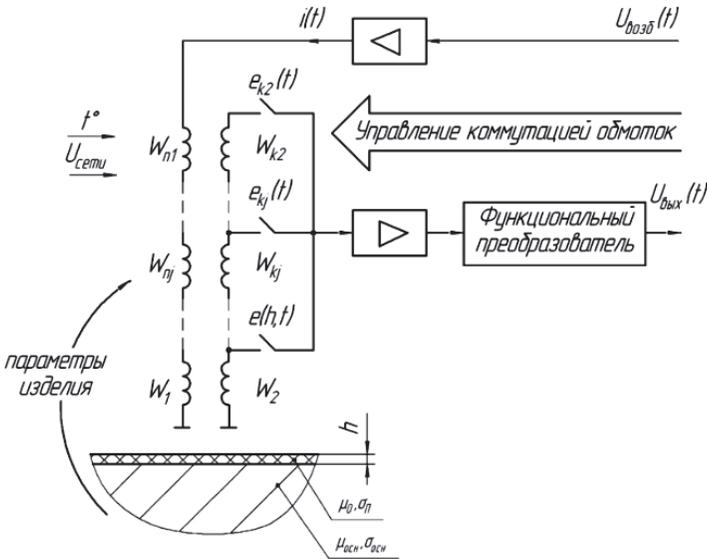
Магнитоиндукционный метод основан на определении изменений магнитного сопротивления участка цепи: двухобмоточный преобразователь, запитываемый низкочастотным переменным током, – ферромагнитный объект контроля с покрытием. При этом параметры ЭДС, наводимой в измерительной обмотке преобразователя, зависят от толщины покрытия [1]. На сегодняшний день ведущими производителями разработаны измерительные преобразователи для решения задач контроля толщины покрытий в большом диапазоне толщин. Однако, зачастую, заявляемые погрешности не соответствуют реальным, получаемым в цеховых условиях, из-за влияния мешающих факторов:

1. Сетевые наводки;
2. Импульсные помехи;
3. Вихревые токи;
4. Температурный дрейф.

Уменьшение погрешности толщиномеров, реализующих магнитоиндукционный метод, возможно, в первую очередь, за счет оптимизации геометрических параметров преобразователей (повышения чувствительности при уменьшении их эквивалентных диаметров), поскольку коэффициент взаимной индукции между возбуждающей и вторичной обмотки измерительного преобразователя зависит от взаимного расположения катушек, числа витков и способа их намотки, геометрических размеров контуров и магнитной проницаемости сердечников и экранов.

В общем случае, первичный измерительный преобразователь (рис. 1) содержит несколько включенных последовательно первичных обмоток и включенных последовательно/параллельно вторичных обмоток.

Они намотаны на единый или раздельный сердечники из ферромагнитных материалов. Форма и частота тока  $i(t)$  задается управляющим напряжением  $u_{\text{возб}}(t)$ , поступающим от аналогового или цифрового формирователя. ЭДС  $e(t, h)$  зависит не только от толщины покрытия, но и от параметров



**Рис. 1. Обобщенная структура измерительного преобразователя, реализующего магнитоиндукционный метод измерения толщины покрытий:**

► – усилители;  $W_1$  и  $W_2$  – первичная и вторичная обмотки чувствительного элемента;  $W_{nj}$  и  $W_{kj}$  – первичные и вторичные обмотки компенсационных преобразователей

основания и среды, а также от наличия различных наводок. Обработка информации с компенсационных обмоток по соответствующим алгоритмам позволяет уменьшать влияние мешающих факторов на результаты измерения.

Вторичный измерительный преобразователь включает в свой состав усилитель – генератор тока  $i(t)$ , управляемый формирователем  $u_{возб}(t)$ , усилитель и функциональный преобразователь, например интегратор или пиковый детектор [2].

Под оптимизацией геометрических параметров преобразователя стоит понимать:

1. Выбор оптимального относительного расположения обмоток (радиальное, радиально-аксиальное, аксиальное).
2. Оптимизация соотношения геометрических параметров катушек (диаметры и высоты обмоток).
3. Выбор оптимальных геометрических параметров ферромагнитного сердечника.
4. Определение оптимальных геометрических характеристик внешнего экрана из ферромагнитных материалов.

5. Оптимизация высоты расположения обмотки возбуждения.
6. Оптимизация расположения вторичной обмотки возбуждения.

Для оценки качества решения данных задач были выявлены основные критерии качества магнитоиндукционных преобразователей:

1. Чувствительность преобразователя  $d/dh(M_{\text{вн}}(h))$ , определяющая погрешность  $\Delta h$  и достигаемый при ее обеспечении диапазон измеряемых толщин  $h_{\text{max}}$ .

2. Минимально возможный диаметр зоны измерения на плоской поверхности при заданных  $\Delta h$  и  $h_{\text{max}}$ , определяющий величину краевого эффекта и минимально возможный радиус кривизны контролируемых криволинейных поверхностей.

3. Массогабаритные и эргономические показатели.

4. Температурная и временная стабильность показаний.

В ходе оптимизации геометрических параметров преобразователя были разработаны модели чувствительного элемента преобразователя, изменяя параметры которых были выявлены зависимости параметров магнитного поля, а также ЭДС, наводимой на вторичной обмотке. Выявление этих зависимостей позволило внести изменения в существующие преобразователи серии ИД компании ООО «Константа» и повысить чувствительность преобразователей в зоне больших толщин.

### Список литературы

1. ГОСТ 9.302–88 (ИСО 1463–82, ИСО 2064–80, ИСО 2106–82). Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля (с поправкой).

2. Потапов А.И., Сясько В.А. Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий: научное, методическое и справочное пособие. СПб.: Научное издательство биографической международной энциклопедии «Гуманистика», 2015.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗОНЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОД ОТПЕЧАТКОМ ОТ ВДАВЛИВАНИЯ ШАРОВОГО ИНДЕНТОРА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

Жгут Д.А.<sup>1</sup>, Хвостов А.А.<sup>1</sup>, Славинская Е.А.<sup>1</sup>, Чернов Д.В.<sup>2</sup>, Марченков А.Ю.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>НИУ «МЭИ», Москва, Россия,  
<sup>2</sup>ИМАШ РАН, Москва, Россия

Для обеспечения безаварийной эксплуатации промышленных объектов необходимо достоверно выявлять наиболее нагруженные элементы конструкции. Для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС)