

МАГНИТОСТАТИЧЕСКИЙ ТОЛЩИНОМЕР ПОКРЫТИЙ

Зварыгин Иван Евгеньевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: iez5@tpu.ru

Сарсикеев Ермек Жасланович

Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, г. Астана

E-mail: sarsikeev.ermek@yandex.ru

MAGNETOSTATIC COATING THICKNESS METER

Zvarygin Ivan Evgenievich

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Sarsikeev Ermek Zhaslanovich

Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana

Аннотация: данная статья направлена на изучение и анализ магнитостатического толщиномера немагнитных диэлектрических и электропроводящих немагнитных покрытий на ферромагнитном основании. В основе преобразователя используется датчик Холла и постоянный неодимовый магнит. В работе были получены зависимости магнитной индукции в абсолютных и условных единицах от толщины различных покрытий.

Abstract: this paper aims to study and analyze a magnetostatic thickness gauge of non-magnetic dielectric and electrically conductive non-magnetic coatings on a ferromagnetic base. The transducer is based on a Hall sensor and a permanent neodymium magnet. The dependences of the magnetic induction in absolute and conditional units on the thickness of various coatings were obtained.

Ключевые слова: магнитостатический толщиномер; немагнитное диэлектрическое покрытие; электропроводящее немагнитное покрытие; постоянный магнит; датчик Холла; магнитная индукция.

Keywords: magnetostatic thickness gauge; non-magnetic dielectric coating; electrically conductive non-magnetic coating; permanent magnet; Hall sensor; magnetic induction.

Введение. Как известно, в данный момент времени учёные Российской Федерации и всего мира ищут способы снизить воздействие разрушающих факторов на производимые изделия. Одним из таких способов являются защитные покрытия. Коррозия или процесс окисления, самый главный естественный разрушающий фактор для железа и его сплавов. Принцип защиты крайне прост, не допустить взаимодействия металла с окислителем. Для защиты используют лакокрасочные покрытия (ЛКП), не затвердевающие покрытия на битумной основе или гальванические покрытия нержавеющей стали.

Для введения изделий в эксплуатацию необходимо подобрать качественное покрытие, отвечающее необходимым для его использования требованиям. При нанесении недостаточного количества защиты, произойдёт её быстрый износ, что повлечёт за собой скорый выход изделия из строя. В то же время, большое количество защитного покрытия зачастую экономически невыгодно предприятиям. Из-за этих факторов появляется необходимость в определённом оптимальном количестве защиты. Следовательно, толщина должна контролироваться.

Магнитостатический толщиномер покрытий сочетает в себе такие положительные качества как: возможность контролировать относительно большую толщину любого немагнитного покрытия на ферромагнитном основании, простота конструкции, следовательно, невысокая цена и надёжность. Но есть и недостаток, это достаточно большая минимальная толщина основания [1–3].

Рассмотрим устройство толщиномера более подробно (см. рисунок 1).



Рисунок 1 – Магнито-статический толщиномер:

1 – измерительный преобразователь (датчик Холла); 2 – усилитель сигнала; 3 – процессорный блок; 4 – цифровое табло; 5 – блок памяти; 6 – блок питания

Измерительный преобразователь, в качестве которого выступает датчик Холла, установленный между постоянным магнитом и объектом контроля, он регистрирует величину магнитной индукции поля, проходящего через его кристалл, она в свою очередь, зависит от толщины контролируемого покрытия. Сигнал с выхода датчика Холла поступает в масштабирующий усилитель 2, там происходит его усиление для максимально эффективной работы аналого-цифрового преобразователя в блоке 3. Процессорный блок 3, как и положено АЦП, преобразует входное напряжение в цифровой сигнал, производит его обработку по заранее заданному алгоритму, затем передает информацию о толщине измеримого покрытия на индикатор и, при необходимости, в блок памяти 5 [4].

Математическое объяснение зависимости магнитной индукции, созданной неодимовым магнитом, от изменения зазора между ферромагнитным основанием и самим магнитом. Ферромагнитное основание выступает в роли магнитопровода для линий магнитной индукции, поэтому вблизи ферромагнетиков магнитная индукция возрастает.

$$B = \frac{F \cdot \mu_0}{l}, \quad (1)$$

где F – намагничивающая сила источника поля; μ_0 – магнитная проницаемость в вакууме ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м), Гн/м; l – длина магнитной силовой линии в воздухе и немагнитном материале, м [5].

В ходе проведения экспериментальной части исследования магнито-статического толщиномера было получено несколько зависимостей. Показания были получены на магнитометр на основе датчика Холла заключённым в одном корпусе с постоянным неодимовым магнитом.

Эксперимент № 1. Изучение зависимости магнитной индукции от толщины диэлектрического покрытия (плёнки) на ферромагнитном основании (см. рисунок 2).

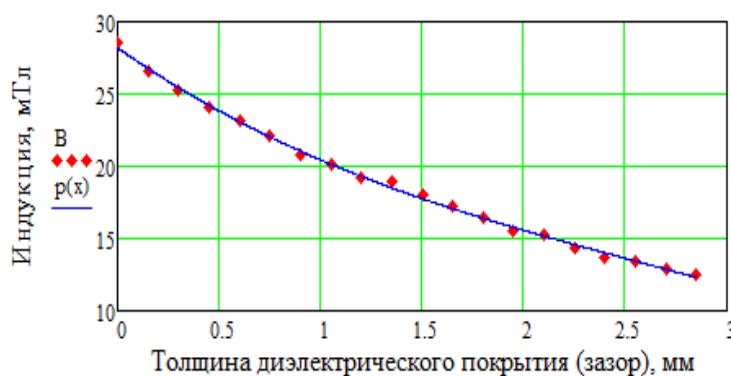


Рисунок 2 – График зависимости магнитной индукции от толщины диэлектрического покрытия

Этот эксперимент был направлен на подтверждение формулы (1). Как видно на графике зависимость индукции от зазора (не важно диэлектрическое оно или электропроводящее) отрицательная криволинейная. Связано это с тем, что при увеличении зазора на определённое расстояние, длина магнитных силовых линий увеличивается на большее расстояние, так как они выходят из северного полюса и входят в южный полюс магнита по дуге (путь больше перемещения). Средняя ошибка полиномиальной функции составляет 1,3%.

Эксперимент № 2. Определение общей формулы зависимости магнитной индукции от зазора при различных магнитных свойствах оснований. Для упрощения совмещения нескольких зависимостей, как на рисунке 2, значения магнитной индукции были переведены в доли от единицы. То есть каждое значение индукции делилось на значение магнитной индукции при нулевом зазоре (значение магнитной индукции в отсутствие зазора равно 1). Совместив зависимости стало ясно, что они идентичны, более детально рассматривать каждую из них нет смысла. Факт их идентичности указывает на то, что магнитные свойства основания не столь важны для магнитостатического метода [6]. Далее была определена функция зависимости полинома второй степени $F(x) = 0,039x^2 - 0,3x + 1$ (см. рисунок 3).

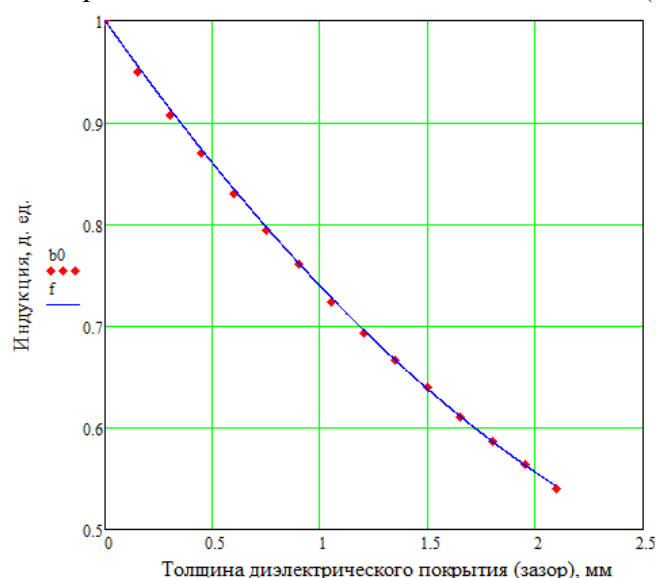


Рисунок 3 – График зависимости магнитной индукции от зазора, при различных магнитных свойствах оснований

Эксперимент № 3. Изучение зависимости магнитной индукции от толщины ферромагнитного основания. Этот эксперимент был направлен на нахождение необходимой толщины основания для измерения на ней защитного покрытия. Проведённый эксперимент позволил установить минимальную толщину основания ($H_{\text{осн. min}}=1,25$ мм) при которой возможно контролировать толщину покрытия без балансировки толщиномера на участке без покрытия. Важным уточнением здесь является то, что необходимо точно знать магнитные свойства основания. Ещё одним достоинством магнитостатического толщиномера является возможность измерения толщины ферромагнетиков, как видно из графика (см. рисунок 4), данный толщиномер способен достаточно точно определять толщину от 0 до 0,9 мм (на этом промежутке график имеет логарифмическую зависимость).

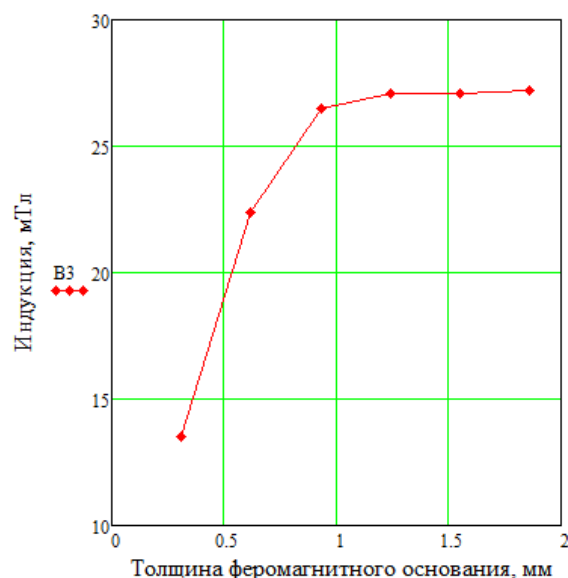


Рисунок 4– График зависимости магнитной индукции от толщины ферромагнитного основания

Заключение. Полученные экспериментальным путём, результаты отражают реальные возможности не заводского магнитостатического толщиномера покрытий. Такие показатели как: минимальная толщина основания равная 1,25 мм, тогда как у заводского толщиномера ТМП-01 она составляет 2 мм; Нижний предел измерения начинается практически с 0, тогда как у заводского толщиномера ТМП-01 он составляет 0,2 мм.

Таким образом, не заводская модель толщиномера уже сейчас способна конкурировать в некоторых областях толщинометрии с ТМП-01. Новшеством данного толщиномера является способность измерять толщину основания (диапазон измерения 0–0,9 мм) и толщину покрытия при толщине основания более 1 мм.

Список литературы

1. ГОСТ 31993-2013. Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия : нац. стандарт Рос. Федерации : дата введения 2014-08-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 16 с.
2. ГОСТ 9.302-88. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам : дата введения 1990-01-01. – М. : Издательство стандартов, 2001. – 40 с.
3. Магнитные толщиномеры – виды, возможности, недостатки [электронный ресурс] / ООО НТЦ «Эксперт»: [сайт]. – URL: <https://www.ntcexpert.ru/md/magnitnye-tolshinometry> (дата обращения: 20.10.2023).
4. Толщиномер покрытий магнитный МТП-01: руководство по эксплуатации Иа2.778.008 РЭ / ЗАО «НИИИН МНПО «СПЕКТР». – Москва, 2013. – 20 с.
5. Толмачев И.И. Исследование магнитного толщиномера МТ2003: методические указания / И.И. Толмачев, А.Н. Калиниченко. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 16 с.
6. Гольдштейн А.Е. Физические основы измерительных преобразований: учебное пособие / А.Е. Гольдштейн. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 253 с.