

УДК 620.179.142.6

РАЗМЕРЫ ИНФОРМАТИВНОЙ ЗОНЫ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Булатов О. В.

*ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В докладе представлены полученные методом конечных элементов результаты расчетов глубины и радиуса информативной зоны магнитодинимических преобразователей, предназначенных для толщинометрии никелевых покрытий. Все преобразователи имеют стальные корпуса с оптимизированными по толщине стенками, содержащие неодимовые цилиндрические магниты разного диаметра.

Ключевые слова: информативная зона, магнитная толщинометрия, магнитодинимический метод, никелевое покрытие.

THE DIMENSIONS OF THE INFORMATIVE AREA OF THE OPTIMIZED MAGNETO-DYNAMIC TRANSDUCERS

Bulatov O.

*Institute of Applied Physics
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. In the paper the calculation results obtained by the finite element method, of depth and radius of the informative area of the magneto-dynamic transducers that intended for thickness measuring of nickel coatings are presented. All of the transducers have steel cases with walls that optimithed by thickness, containing the neodim cylindrical magnets with different diameter.

Key words: informative area, magnetic thickness measuring, magneto-dynamic method, nickel coating.

*Адрес для переписки: Булатов О. В., ул. Академическая, 16, г. Минск, 220072, Республика Беларусь.
e-mail: lab1@iaph.bas-net.by*

Ранее [1] на примере магнитодинимического преобразователя с цилиндрическим корпусом из низкоуглеродистой стали, содержащим десяти-миллиметровый неодимовый магнит, были расчетным путем (методом конечных элементов) оптимизированы толщины обеих стенок корпуса. Установлено, что при использовании оптимизированного преобразователя для толщинометрии никелевых покрытий, нанесенных на ферромагнитные основания, краевой эффект становится минимальным. Затем аналогичные оптимизационные расчеты были проведены для преобразователей с магнитами меньших диаметров [2]. На следующем этапе расчетов была исследована взаимосвязь между оптимальными толщинами обеих стенок стального корпуса с диаметром расположенного в нем магнита в диапазоне значений от 1 до 10 мм [3]. Результаты проведенного исследования следует использовать при конструировании оптимизированных преобразователей с магнитами разных диаметров для толщинометрии никелевых покрытий в диапазонах с различными верхними пределами (вплоть до 1000 мм).

В настоящем докладе рассмотрены результаты дальнейшего применения метода конечных элементов, позволившие определить глубину и радиус информативной зоны оптимизированных преобразователей. Информация о глубине необходима для выбора магнита с наименьшим диаметром, при котором преобразователь еще может измерять толщину никелевых покрытий контро-

лируемых изделий в заданном диапазоне ее значений. Сведения о радиусе необходимы при разработке не только методики контроля толщины покрытий, но и, в первую очередь, методики проверки или калибровки толщиномера с оптимизированным преобразователем, предполагающей использование набора мер с покрытиями, имеющими очень ограниченную площадь поверхности. Ограничение площади неизбежно в силу того, что достаточно трудно (или даже технически невозможно) выполнить довольно жесткие требования к качеству поверхности покрытия, имеющей чрезмерно большую площадь.

На рисунке 1 приведен график зависимости глубины $Z_{из}$ информативной зоны магнитодинимического преобразователя со стальным корпусом, обе стенки которого оптимизированы по толщине, от диаметра D неодимового магнита, расположенного в этом корпусе. Значения данного диаметра представлены в диапазоне от 1 до 10 мм, охватывающем практически все случаи возможного применения указанного преобразователя для толщинометрии никелевых покрытий.

Из графика на рисунке 1 следует, что зависимость $Z_{из}(D)$ монотонно возрастает во всем рассматриваемом диапазоне значений диаметра D . Этого и следовало ожидать, так как рост D неизбежно влечет за собой увеличение интенсивности первичного магнитного поля преобразователя. Оптимизированные по толщине стенки корпуса максимально усиливают эту тенденцию.

Относительно плавный рост зависимости $Z_{ИЗ}(D)$ объясняется в первую очередь тем, что материал покрытия (никель) по мере углубления в него силовых линий магнитной индукции первичного поля все более равномерно распределяет (т. е. рассеивает) их по горизонтали.

На рисунке 2 показана зависимость минимального радиуса $R_{ИЗ\ min}$ информативной зоны вышеуказанного преобразователя от диаметра D , диапазон значений которого остался прежним.

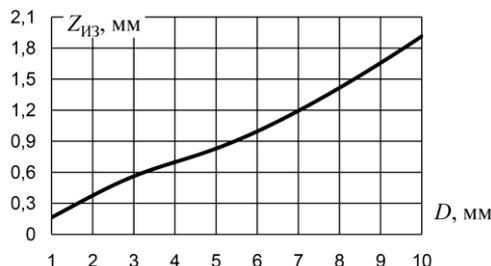


Рисунок 1 – Зависимость глубины $Z_{ИЗ}$ информативной зоны оптимизированного магнитодинамического преобразователя от диаметра D неодимового магнита

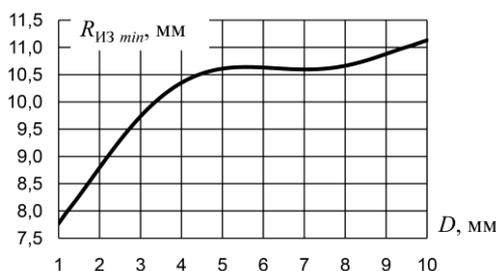


Рисунок 2 – Зависимость минимального радиуса $R_{ИЗ\ min}$ информативной зоны оптимизированного магнитодинамического преобразователя от диаметра D неодимового магнита

На данном графике изображена уже совсем другая тенденция, характеризующая изменение радиуса $R_{ИЗ\ min}$ с увеличением диаметра D . Видно, что сначала зависимость $R_{ИЗ\ min}(D)$ быстро и почти линейно возрастает, однако потом скорость ее роста падает до нуля, а после $D > 5,5$ мм наблюдается даже малозаметное уменьшение $R_{ИЗ\ min}$. После $D = 7$ мм снова начинается уверенный почти линейный рост $R_{ИЗ\ min}$, однако скорость этого роста явно меньше скорости в начале диапазона значений D .

Такая тенденция объясняется тем, что радиус $R_{ИЗ\ min}$, зависящий в первую очередь от диаметра D , во многом зависит от внешнего диаметра стального корпуса и оптимальной толщины $H_{опт}$ его вертикальной стенки. Из графика взаимосвязи толщины $H_{опт}$ с диаметром D [3] следует, что с его ростом толщина $H_{опт}$ резко убывает на участке от

порогового значения $D_{пор} = 4,4$ мм до конца диапазона значений D . Именно после значения $D_{пор}$ скорость роста радиуса $R_{ИЗ\ min}$ стремительно падает до нуля. Когда влияние дальнейшего увеличения диаметра D оказывается сильнее влияния уменьшения толщины $H_{опт}$, радиус $R_{ИЗ\ min}$ начинает снова возрастать, причем со все большей скоростью, которая увеличивается до конца диапазона значений D . На рисунке 2 равенство $R_{ИЗ} = R_{ИЗ\ min}$ справедливо при любом диаметре D , а невыполнение равенства $H = H_{опт}$ неизбежно приводит к увеличению радиуса $R_{ИЗ}$.

Зависимость $Z_{ИЗ}(D)$ необходимо знать заранее, чтобы можно было создать магнитодинамический преобразователь с основными конструктивными элементами, размеры которых оптимальны для заданного диапазона измерений толщины никелевых покрытий. Такая оптимизация позволяет в каждом практическом случае обеспечить минимальный радиус $R_{ИЗ\ min}$, что приводит к минимально возможному для этого случая краевому эффекту.

Знание зависимости $R_{ИЗ\ min}(D)$ позволяет избежать увеличения погрешности, которое может иметь место в первую очередь при калибровке или проверке магнитодинамических толщиномеров никелевых покрытий.

Обе зависимости необходимы для вычисления объема информативной зоны, позволяющего оценить уровень ее намагниченности, от которого зависит крайне важная для магнитной толщинометрии дополнительная погрешность, обусловленная структурным состоянием никеля.

Литература

1. Булатов, О. В. Оптимизация размеров корпуса преобразователя магнитодинамического толщиномера с целью минимизации краевого эффекта / О. В. Булатов // Приборостроение – 2021 : материалы 14-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 17–19 ноя. 2021 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : О.К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск, 2021. – С. 33–35.
2. Булатов, О. В. Выбор оптимальных толщин стенок стальных корпусов магнитодинамических преобразователей / О. В. Булатов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21–22 апр. 2022 г. / Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2022. – С. 311–312.
3. Булатов, О. В. Взаимосвязь оптимальных толщин стенок стального корпуса с диаметром неодимового магнита преобразователя для толщинометрии никелевых покрытий / О. В. Булатов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 20–21 апр. 2023 г. / Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2023. – С. 317–318.