

УДК 620.179.142.6

ЗАВИСИМОСТЬ РАДИУСА ИНФОРМАТИВНОЙ ЗОНЫ ОТ ДИАМЕТРА МАГНИТА, РАСПОЛОЖЕННОГО В ОПТИМИЗИРОВАННОМ КОРПУСЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТОЛЩИНОМЕРА НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

О. В. БУЛАТОВ

Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Информацию об измеряемой толщине никелевого покрытия содержит намагниченная область никеля, расположенная под магнитодинамическим преобразователем, установленным на покрытие, и называемая информативной зоной. В первом приближении она представляет собой диск, условно ограниченный радиусом и глубиной. Эти параметры зависят от характеристик элементов намагничивающей системы преобразователя, создающей первичное поле. Важнейшими характеристиками являются материал и диаметр постоянного цилиндрического магнита, т. к. он является источником первичного поля. Для магнитодинамических преобразователей в качестве материала их магнитов используют только неодим-железо-бор (NdFeB), поскольку он имеет наибольшую коэрцитивную силу по сравнению с самарий-кобальтом (SmCo), ферритом бария (BaFe) или стронция (SrFe) и другими магнитотвердыми материалами.

Первоначально методом конечных элементов было установлено, что на радиус $R_{из}$ информативной зоны магнитодинамического преобразователя очень сильно влияет диаметр D неодимового магнита, первичное поле которого создает данную зону в никелевом покрытии. Далее в [1, 2] на примере преобразователя для толщинометрии никелевых покрытий камер жидкостных ракетных двигателей показано, что радиус $R_{из}$ существенно зависит от толщин обеих стенок стального корпуса, содержащего неодимовый магнит. В свою очередь, расчетным путем установлено, что оптимальная толщина $S_{опт}$ вертикальной плоской стенки корпуса преобразователя связана с заданным диаметром D трехчленом второй степени

$$S_{опт} = a \cdot D^2 + b \cdot D + c, \quad (1)$$

а оптимальная толщина $H_{опт}$ вертикальной цилиндрической стенки корпуса – более сложным уравнением вида

$$H_{опт} = (d \cdot D^4 + e \cdot D^3 + f \cdot D^2 + g \cdot D + h) / (i \cdot D^5 + j \cdot D^4 + k \cdot D^3 + l \cdot D^2 + m \cdot D + 1), \quad (2)$$

при этом также вычислены коэффициенты a, b, c, \dots, m обоих уравнений. Все это позволило исследовать в настоящей работе зависимость $R_{из \min}(D)$ в максимальном для практики диапазоне от 1 до 10 мм, при этом каждый моделируемый преобразователь имел стальной корпус со стенками, толщины которых вычислены по уравнениям (1) и (2). Результаты исследования, полученные для целых значений диаметра D , представлены в табл. 1.

Табл. 1. Зависимость минимального радиуса $R_{\text{Из min}}$ информативной зоны магнитодинамического преобразователя от заданного диаметра D неодимового магнита, расположенного в стальном корпусе, стенки которого имеют оптимальные толщины $S_{\text{опт}}$ и $H_{\text{опт}}$, обеспечивающие минимизацию краевого эффекта

D , мм	$S_{\text{опт}}$, мм	$H_{\text{опт}}$, мм	$R_{\text{Из min}}$, мм	D , мм	$S_{\text{опт}}$, мм	$H_{\text{опт}}$, мм	$R_{\text{Из min}}$, мм
1	0,15	4,0	7,8	6	1,0	4,4	10,6
2	0,35	4,5	8,8	7	1,2	4,15	10,6
3	0,5	4,75	9,7	8	1,35	3,95	10,7
4	0,7	4,9	10,4	9	1,45	3,8	10,85
5	0,85	4,7	10,6	10	1,6	3,7	11,1

Из табличных данных следует, что минимальный радиус $R_{\text{Из min}}$ при увеличении заданного диаметра D возрастает в большей части рассматриваемого диапазона, а именно на довольно протяженном начальном участке, заканчивающемся пороговым значением $D_{\text{пор}} = 4,4$ мм, и на конечном участке, соответствующем значениям $D > 7,5$ мм. Видно, что на расположенном между ними среднем участке, составляющем по ширине примерно четвертую часть диапазона, $R_{\text{Из min}}$ практически постоянный.

Существование на рассматриваемом диапазоне стабильного участка наиболее благоприятно для практики, т. к. он позволяет в своих пределах свободно выбирать нужное значение диаметра D , не опасаясь возрастания краевого эффекта. Конечный участок диапазона также достаточно благоприятен, поскольку краевой эффект на нем растет незначительно. Однако от самого начала диапазона и вплоть до порогового значения $D_{\text{пор}}$ имеет место значительное возрастание краевого эффекта, что требует особого внимания прежде всего при градуировке толщиномера с одним из тех преобразователей, магниты которых имеют диаметр вплоть до $\sim 4,5$ мм.

Таким образом, в настоящей работе методом конечных элементов получены результаты, позволяющие не только разработать для каждого конкретного случая магнитодинамический преобразователь, максимально устойчивый к воздействию краевого эффекта, но и заранее оценить обусловленную этим фактором дополнительную погрешность, возникающую при градуировке толщиномера, оснащенного таким преобразователем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов, О. В. Влияние толщины стенки стального корпуса преобразователя магнитодинамического толщиномера на краевой эффект / О. В. Булатов // Приборостроение-2020: материалы 13 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18–20 нояб. 2020 г. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 21–22.
2. Булатов, О. В. Оптимизация размеров корпуса преобразователя магнитодинамического толщиномера с целью минимизации краевого эффекта / О. В. Булатов // Приборостроение-2021: материалы 14 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 17–19 нояб. 2021 г. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 33–35.