

УДК 534.16

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОМАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В МАГНИТОМЕТРИИ

А. Р. БАЕВ, В. А. БУРАК, Н. Н. ГИЛЬ
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Одно из направлений развития методов неразрушающего контроля связано с использованием управляемых внешними полями жидкостей, среди которых особое место занимают наномангнитные жидкости (НМЖ), обладающие текучестью, высокой агрегативной и седиментационной устойчивостью во внешних полях и удерживаемые в любом пространственном положении под воздействием пондеромоторных сил $f_M = \mu_0 M \nabla H$, где M – намагниченность коллоида, описываемая функцией $M(H)$, подобной ланжевеновской [1]. Проведен анализ принципов использования таких сред для определения сквозных и поверхностных дефектов, мест прижогов при механической обработке, визуализации магнитной записи [2] и др. Ниже преимущественно рассмотрены возможности использования НМЖ для измерения толщины немагнитных покрытий на ферромагнитных изделиях, а также индикации взаимного положения тел.

При реализации предложенного чувствительным элементом к воздействию магнитного поля H служат капли НМЖ, помещенные в круглый или плоский капилляр, заполненный специальным раствором, например, лаурисульфатом натрия, такой же плотности, что и НМЖ, что поясняется рис. 1, где приведена в упрощенном варианте схема предлагаемого способа измерений толщины покрытия Δh . При этом источником первичного поля напряженностью $H_0(x, y, z)$ служит однородно поляризованный вдоль оси x магнит толщиной d , расположенный на высоте h_1 над поверхностью ферромагнитного объекта. Как показывают расчеты и данные экспериментального моделирования, при определенных заранее условиях, учитывающих габариты и магнитные свойства объекта контроля и магнита, результирующее поле $H = H_0 + H^*$ в плоскости расположения канала капилляра с каплями МЖ $z_k \rightarrow \Delta h + \delta$ и $y \rightarrow 0$ имеет два одинаковых по величине, но разных по знаку, экстремума поля H_{mi} в окрестности $x \rightarrow x_{1,2}$, где $(f_M)_x \sim M \partial H / \partial x \rightarrow 0$ и будут локализованы капли НМЖ. Для подобранных условий величина $x_{1,2}$ представляет собой информативный параметр, изменяющийся с толщиной измеряемых покрытий, который может быть использован для их контроля без привлечения электронных устройств. То есть не требуется измерение амплитудных, фазовых, частотных характеристик сигнала-отклика. В данном случае с помощью капель НМЖ измеряется только координата положения максимумов поля, лежащих в плоскости, параллельно $z = 0$.

Используя соленоидальное представление при расчете поля источника в форме параллелепипеда длиной a , высотой b и толщиной d , а также метод зеркальных отображений при определении H^* , получены зависимости H_{mi} и безразмерных координат положения максимумов поля $x^*_{1,2} = x_{1,2} d^{-1}$ от геомет-

рических параметров источника поля $\{a^* = a/d, b^* = b/d\}$, его расстояния $h^* = h/d$ до основы объекта с магнитной проницаемостью μ_s , а также толщины покрытия $\Delta h^* = \Delta h/d$. Отметим, что $x^*_{1,2} \rightarrow \pm[(h^*)^2 + 1/4]^{0,5}$, если $a^* \gg 1$, $b^* \gg 1$, $\mu_s \gg 1$, а $\Delta h^* \ll 1$. Проведенные расчеты, а также опытные данные, полученные при измерении напряженности магнитного поля миниатюрным датчиком Холла и индикации его максимумов с помощью капель НМЖ диаметром $\sim 0,3 \dots 0,5$ мм на основе трансформаторного масла показали их качественное соответствие.

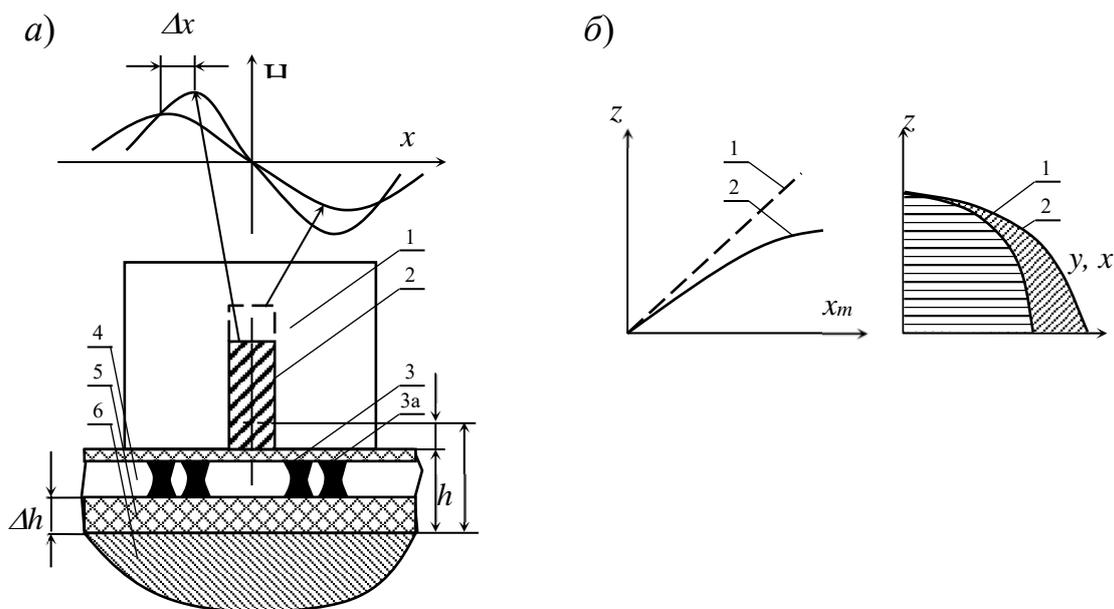


Рис. 1. Принцип работы магнитожидкостного измерителя толщин или пространственного положения объектов: $a - 1$ – корпус; 2 – магнит; $3, 3a$ – положения капли НМЖ с увеличением толщины покрытия; 4 – капилляр; 5 – измеряемый объект, покрытие; 6 – ферромагнитное основание; $b - 1$ – траектория движения магнита в плоскости $x = 0$; 2 – капли НМЖ в плоскости $z \rightarrow 0$

В ряде случаев предложенный метод может быть использован и для контроля взаимного положения движущихся друг относительно друга объектов, размещая на одном из них источник поля, а на другом – индикатор с каплями НМЖ в канале плоского или круглого капилляра. В последнем случае представляется возможным по данным траектории капли «отслеживать» визуальное относительное смещение объектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ваев, А. Р.** Physical principles of magnetic fluid guides used for nondestructive testing / A. R. Baev, P. P. Prokhorenko, M. V. Asadchaya // Review of Quantitative Nondestructive Evaluation. – 2004. – Vol. 23. – P. 91–96.
2. **Жерновой, А. И.** Исследование инфракрасного спектра поглощения магнитной жидкости в магнитном поле / А. И. Жерновой, Ю. В. Улашкевич, С. В. Дьяченко // Научное приборостроение. – 2016. – Т. 26, № 2. – С. 60–63.