

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ НАМАГНИЧИВАНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ СТРУКТУРЫ ИЗДЕЛИЙ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сандомирский С.Г.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Важным разделом магнитной структуроскопии является разработка средств магнитного контроля структуры изделий массового производства. Их особенностью является бесконтактное намагничивание изделий в движении и бесконтактное измерение магнитного состояния изделий. Для контроля изделий из среднеуглеродистых сталей, используемых в машиностроении, надо дозировано размагнитить изделия после намагничивания. Поля заданной напряженности должны быть локализованы в ограниченных пространствах на пути движения изделий.

В докладе проанализированы намагничивающие преобразователи средств магнитного контроля изделий массового производства. Их действие основано на создании на пути движения изделий компактных областей с магнитным полем заданной напряженности. При этом используют эффекты одинаковой скорости уменьшения магнитного поля на оси катушек, имеющих разные внутренний и внешний диаметры, на разных расстояниях от их торцов, создания однородных поля и градиента поля катушками Гельмгольца и резкого уменьшения поля за пределами «безмоментных» катушек [1].

В результате анализа выявлены основные недостатки намагничивающих систем: относительно невысокая напряженность намагничивающего поля и не достаточная его локализация на пути движения изделий. Недостатки уменьшены в разработанной намагничивающей системе (рисунок) [2].

Система включает катушку 2 в форме соленоида, намотанного на немагнитном каркасе 1. Обмотка катушки длиной L внутренним и наружным диаметрами $2a$ и $2b$, помещена в кожух 3 из магнитомягкого материала, прилегающий к наружной поверхности обмотки. Толщина δ кожуха составляет 3 – 10 % толщины $(b - a)$ обмотки.

Принцип действия намагничивающей системы заключается в использовании внешнего поля катушки с током для намагничивания кожуха заданной толщины. Внутренний диаметр $2a$ обмотки определяется поперечным размером контролируемых изделий и толщиной немагнитного каркаса. Наружный диаметр $2b$ и длину L обмотки устанавливают с учетом допустимой средней температуры $T_{\text{п}}$ ее перегрева и допустимого веса [3]. Из тех же условий устанавливают предельно допустимую плотность j тока в про-

воде обмотки. Установленные размеры обмотки и плотность j тока в ее проводе обеспечивают достижение максимально возможной напряженности H_0 поля в центре цилиндрической полости диаметром $2a$ при заданном весе обмотки и ее работе в условиях естественного охлаждения ее поверхности окружающим воздухом при допустимой $T_{\text{п}}$. Одновременно внешнее поле обмотки намагничивает кожух, представляющий во внешнем поле обмотки полузамкнутую магнитную цепь. Направление магнитного поля кожуха во внутренней рабочей области намагничивающей системы совпадает с направлением намагничивающего поля H_0 обмотки и усиливает его. В окружающем пространстве поле кожуха противоположно направлению поля обмотки и частично компенсирует его. Благодаря плотному прилеганию кожуха к наружной поверхности обмотки и высокой теплопроводности его материала (стали) условия отвода тепла от обмотки не изменяются и температура ее перегрева при использовании кожуха не повышается. Плотное прилегание кожуха к поверхности катушки обеспечивает предельно возможное усиление намагничивающего поля в рабочей области внутри катушки и ослабление поля катушки за ее пределами.

Материал кожуха при работе системы не должен находиться в магнитном насыщении. Для этого кожух изготовлен из магнитомягкого материала толщиной δ , составляющей 3 – 10 % толщины $(b - a)$ обмотки. Определение толщины δ кожуха в конкретных вариантах выполнения намагничивающей системы осуществляется экспериментально либо расчетным путем. Определяют внешнее поле H_B обмотки в середине ее наружной боковой поверхности при плотности j тока в проводе катушки, обеспечивающей поле H_0 в центре катушки (для реальных намагничивающих катушек величина H_B составляет 10 – 25% от H_0). По значению H_B и намагнитченности технического насыщения M_S материала кожуха (для электротехнического железа $M_S \approx 1700$ кА/м) определяют необходимую величину центрального коэффициента N размагничивания кожуха 3:

$$N \approx H_B / 0,9M_s . \quad (1)$$

По значению N рассчитывают минимальную толщину δ кожуха 3:

$$\delta \approx bN / 2\mathfrak{E}(\lambda)k(\lambda), \quad (2)$$

где
$$\mathcal{E}(\lambda) = \frac{1}{\lambda^2 - 1} \left[\frac{\lambda}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} \ln(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) - 1 \right]$$
 для $\lambda > 1$,
$$k(\lambda) = \frac{1 + 2,35 \ln(1 + 0,137\lambda)}{1 + 2,28 \ln(1 + 0,284\lambda)}$$
,
$$\lambda = [L + 2(\varphi - a)]/2\varphi.$$

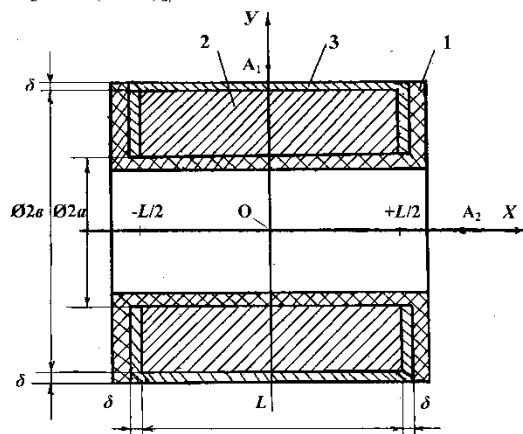


Рисунок 1– Сечение намагничивающей системы

Формула (2) получена на основе конфигурации кожуха (рисунок) и рекомендаций по расчету размагничивающего фактора полых цилиндров [4].

При рассчитанной толщине δ кожуха его материал при работе катушки в штатном режиме не находится в магнитном насыщении. Для реальных катушек и материалов кожуха величина δ составляет 3 – 10 % от толщины обмотки. Уменьшение δ ниже определенной по формуле (2) приведет к насыщению материала кожуха. Это вызовет уменьшение магнитного поля в рабочей области системы и снизит компенсацию поля системы в окружающем ее пространстве. Увеличение δ сверх определенной величины не приведет к увеличению поля в рабочей области системы и не повысит степень компенсации поля катушки в окружающем ее пространстве, но увеличит вес намагничивающей системы.

Преимущества намагничивающей системы показаны на примере катушки, имеющей параметры обмотки: $a = 24$ мм, $\varphi = 80$ мм, $L = 80$ мм, намотанной проводом ПЭВ-2 диаметром 1,5 мм с коэффициентом заполнения $f \approx 0,815$ на немагнитном дюралюминиевом каркасе толщиной 5 мм. При токе в проводе 3 А ($j \approx 1,7$ А/мм²) $T_n \approx 85^\circ\text{C}$, а напряженность поля в ее центре $H_0 \approx 48,5$ кА/м. Поле H_B обмотки в середине ее наружной боковой поверхности $H_B \approx 0,18 \cdot H_0 \approx 8,7$ кА/м. Для центрального коэффициента N размагничивания и толщины δ кожуха из электротехнического железа получим по формулам (1) и

(2): $N \approx 0,0057$; $\delta \approx 1,62$ мм. (не меньше). Результаты измерений показали, что при кожухе из 5 слоев электротехнического железа толщиной 0,5 мм увеличение напряженности H_0 поля в центре катушки составило 22%. Во всем диапазоне изменения тока от 0 до 3 А линейное изменение поля H_0 было линейным. При этом общий вес намагничивающей системы, увеличился на 15 % (при таком увеличении напряженности H_0 поля катушки путем увеличения количества провода вес катушки увеличился бы более, чем в 2 раза). Кроме того, произошло ослабление поля катушки в окружающем ее пространстве. Например, в точке A_1 (рисунок), расположенной на боковой поверхности катушки – в 15 раз, а в точке A_2 , расположенной на оси катушки на расстоянии 10 см от ее торца – в 2 раза. Это снизило влияние поля катушки на измерительные преобразователи.

Таким образом, разработанная намагничивающая система обеспечивает существенное повышение напряженности намагничивающего поля в рабочей области намагничивающей катушки и его снижение в окружающем катушку пространстве без увеличения средней температуры перегрева катушки и не значительном увеличении ее веса. Это повышает потребительские свойства катушки – намагничивание движущихся сквозь нее изделий в поле большей напряженности без роста потребляемой мощности и размеров. Ее влияние на расположенные снаружи измерительные преобразователи снижено.

1. Сандомирский, С.Г. Современные возможности магнитного контроля структуры изделий (обзор) // В мире неразрушающего контроля. – 2009. – № 1. – С. 40 – 46.
2. Сандомирский, С.Г. Намагничивающая катушка. Патент Республики Беларусь на полезную модель № 5995, 2009 г.
3. Сандомирский, С.Г. Оптимизация геометрических размеров намагничивающей катушки средств магнитного контроля движущихся ферромагнитных изделий // Дефектоскопия. – 1989. – №7. – С. 72 – 79.
4. Сандомирский, С.Г. Рекомендации по применению в технических расчетах формул для центрального коэффициента размагничивания сплошных и полых цилиндров, стержней и пластин из материала с высокой магнитной проницаемостью (обзор) // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2008. – № 3. – С. 38 – 46.