

**Н.Н. СИРЕНКО**, канд. техн. наук, доцент, НТУ "ХПИ", Харьков

## **ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИЯМ ПЕРМЕАМЕТРОВ**

Выработан ряд требований, предъявляемых при конструировании автоматизированных промышленных пермеаметров. Предложена методика анализа элементов конструкции пермеаметра при выполнении каждого поставленного требования. Рассмотрена конструкция типового пермеаметра и предложены конкретные конструкционные элементы и меры, направленные на выполнение требований.

Зроблено ряд вимог, що пред'являються при конструюванні автоматизованих промислових пермеаметрів. Запропоновано методику аналізу елементів конструкції пермеаметрів при виконанні кожної поставленої вимоги. Розглянута конструкція типового пермеаметру та запропоновано конкретні конструкційні елементи і заходи, спрямовані на виконання вимог.

Developed a number of requirements in the design of automated industrialpermeameter. The method of analysis of structural elements in the performance of eachpermeameter supplied requirements. The design of a standard permeameter andpropose concrete structural elements and measures to fulfill the requirements.

Главным недостатком традиционных устройств для магнитного контроля [1 - 4] изделий различных форм, особенно замкнутой, является трудоемкая и длительная подготовка образца к измерениям, связанная с нанесением на них намагничивающей и измерительных обмоток. Среди свободных от этого недостатка устройств выделяются наиболее простые приспособления с разъемными обмотками [2, 3], а также устройства с магнитопроводами, создающими рабочий магнитный поток в образце и замыкающими его на свои полюсы [1, 3 - 5]. Такие устройства являются наиболее перспективными для процесса автоматизации испытаний ферромагнитных образцов любых форм и называются пермеаметрами [1 - 5].

По метрологической классификации средств измерительной техники пермеаметры являются измерительными преобразователями с магнитопроводами, предназначенными для косвенных измерений магнитных характеристик ферромагнитных изделий без нанесения на них намагничивающих и измерительных обмоток. Развитие конструктивного ряда пермеаметров является важнейшим необходимым условием для автоматизации промышленного неразрушающего контроля качества ферромагнитных изделий как простых, так и сложных форм. Поэтому практически важными становятся задачи конструирования пермеаметров, предназначенных для автоматизации магнитного контроля качества образцов из тонколистовой электротехнической стали, элементов электродвигателей (сердечников статоров, роторов), магнитопроводов трансформаторов, ферромагнитных элементов электрических аппаратов и т.п. Основной задачей при этом является выработка конкретных технических требований при проектировании пермеаметров.

Принцип действия пермеметров состоит в том, что магнитный поток создается не внутри образца, как это традиционно происходит при испытании образцов с нанесенной намагничивающей обмоткой, а в магнитопроводе самого пермеметра. Далее этот поток передается с минимальными потерями в образец, замыкаясь на основной магнитопровод пермеметра. Применение пермеметров для испытаний как замкнутых образцов (тороидальной, эллиптической и других конфигураций), так и изделий разомкнутой формы (полос, листов) отличается тем, что на результаты измерений не оказывает влияние размагничивающий фактор, поскольку магнитная цепь образца всегда оказывается замкнутой на полюса магнитопроводов.

При разработке конструкций современных пермеметров необходимо учитывать ряд требований, предъявляемых к их элементам, узлам и материалам. Такими требованиями в первую очередь являются:

- контроль магнитных характеристик ферромагнитных изделий замкнутой и разомкнутой форм широкого ассортимента, т. е. *универсальность применения*;
- минимальное магнитное *сопротивление* системы «пермеметр-образец»;
- минимальные *рассеяния* основного магнитного потока;
- однородность *намагничивания* изделия в поперечном сечении и вдоль длины;
- повышенная *точность* контроля;
- высокая *чувствительность* при определении магнитных характеристик;
- возможность *автоматизации* магнитного контроля промышленных изделий серийного производства;
- *надежность* конструкции с целью длительной эксплуатации;
- *удобство* и *простота* эксплуатации.

Рассмотрим в качестве примера, как эти требования учитывались при конструировании типового промышленного универсального пермеметра [5, 6], конструкция которого с размещенным на нем образцом замкнутой (кольцевой) формы приведена на рис. 1. Такой пермеметр также позволяет контролировать образцы и разомкнутой формы (полоса, лист).

Пермеметр содержит центральный магнитопровод 1, выполненный в виде ферромагнитного шихтованного стержня с каркасом 2 намагничивающей обмотки. На магнитопроводе 1 установлены шихтованные полюсные наконечники 3 а также подвижные струбины 4 с упорами 5 и пружинами 6, представляющие собой прижимные приспособления. Там же расположены центрирующие приспособления 7 с направляющей 8 и упорными гайками 9, перемещающимися по винту 10. Каркасы 11 и 12 с секциями измерительной обмотки размещены на краях наконечников 3. Струбины 4 в частях, охватывающих магнитопровод 1, выполнены с разрезом (воздушным зазором), препятствующим замыканию

вихревых токов в них. Прижимные упоры 5 установлены в струбцинах 4 с возможностью фиксации в отжатом (посредством пружин 6) положении.

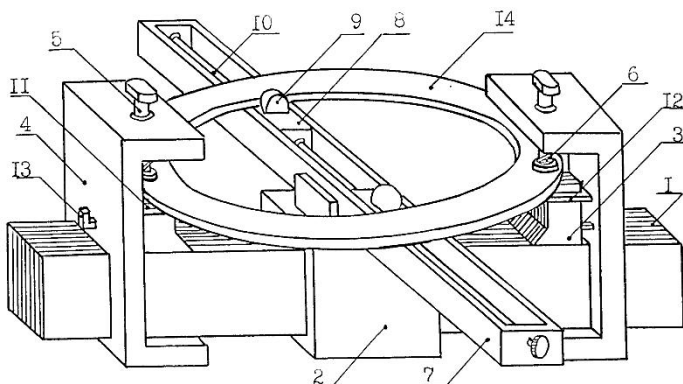


Рис. 1. Пермеаметр с изделием замкнутой формы

Возможность магнитных испытаний изделий различных типоразмеров и форм в рассматриваемом пермеаметре обеспечена рядом следующих конструктивных мер. Во-первых, длина магнитопровода 1 и длина центрирующего приспособления 7 рассчитываются с учетом возможности испытаний изделий максимальных из заданных типоразмеров и различных форм (замкнутой, разомкнутой). Во-вторых, струбины 4, сопряженные с полюсными наконечниками 3, выполнены подвижными вдоль магнитопровода 1. Кроме этого, длина центрирующего приспособления 7 также выбрана с учетом возможности испытаний изделий различных типоразмеров и форм. Этой же цели служат и подвижные упорные гайки 9, имеющие возможность регулирования положения при перемещении их по винтовой направляющей (элементы 8 и 10 на рис. 2.1). Таким образом обеспечена *универсальность* пермеаметра по отношению к типоразмерам и формам испытуемых изделий.

Следующим из основных требований является то, что сумма магнитных сопротивлений всех элементов магнитопровода и воздушных зазоров в местах контакта полюсных наконечников и изделия должна быть существенно меньше магнитного сопротивления испытуемого образца. Чтобы выполнить это условие, необходимо было свести к минимуму воздушные зазоры в магнитной цепи системы «преобразователь - образец». Для этого были разработаны прижимные приспособления в виде струбин 4 с упорами 5 и пружинами 6. Они надежно фиксируют статическое положение системы «пермеаметр-изделие» и обеспечивают в ней минимальные воздушные зазоры. Дополнительной мерой является тщательная шлифовка контактных поверхностей наконечников и магнитопровода.

Также требуется выполнять элементы магнитопровода с площадью их поперечного сечения значительно (примерно в 100 раз и более) превышающей площадь сечения испытуемых изделий. Естественно, в зависимости от массы испытуемого изделия резко увеличивается масса пермеаметра, что является одним из основных его недостатков. Поэтому в таких случаях их выполняют стационарными или, если необходимо их передвигать, на тележках.

Для выполнения условия минимального рассеяния основного магнитного потока необходимо рассматривать магнитную цепь системы «преобразователь - образец» и распределение магнитных потоков в ней.

В качестве примера рассмотрим магнитную цепь типового пермеаметра [5 - 6] с изделием замкнутой формы (рис. 2) и распределение магнитных потоков в этой системе (рис. 3).

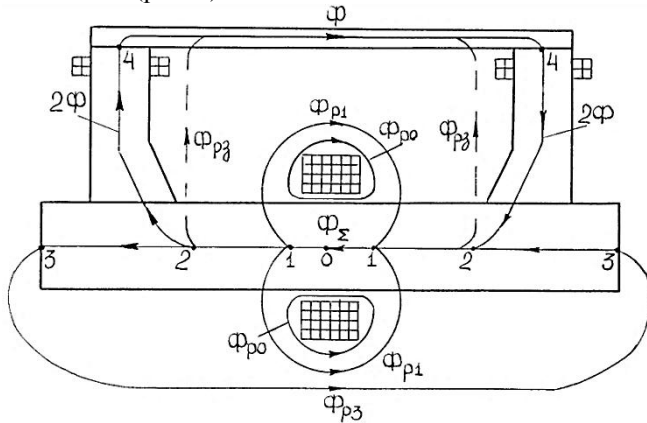


Рис. 2. Магнитная цепь системы «пермеаметр – тороидальный образец»

Анализ распределения потоков показывает следующее. Основной магнитный поток  $\Phi_{\Sigma}$  создается в центральном магнитопроводе преобразователя при протекании тока по его намагничивающей обмотке. При проведении магнитного контроля изделия поток  $\Phi_{\Sigma}$  разветвляется на два потока  $\Phi$ , растекающихся по половинам кольцевого образца (полукольцам), а также на несколько характерных потоков рассеяния  $\Phi_{p0}$ ,  $\Phi_{p1}$ ,  $\Phi_{p2}$ , шунтирующих рабочие потоки  $\Phi$ . Потоки рассеивания  $\Phi_{p0}$  и  $\Phi_{p1}$  замыкаются вокруг намагничивающей катушки пермеаметра, а потоки  $\Phi_{p2}$  - по воздуху на полюса центрального магнитопровода. Они представляют собой потери основного магнитного потока  $\Phi$ , зондирующего изделие. Их наличие является источником погрешности определения магнитных характеристик изделия.

Минимальные *рассеяния* основного магнитного потока обеспечены следующими мерами.

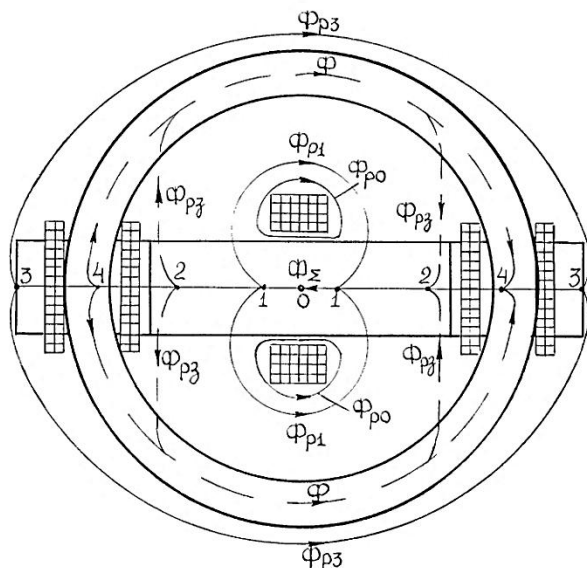


Рис. 3. Распределение магнитных потоков в системе «пермеаметр – тороидальный образец»

Применение в конструкции рассматриваемого преобразователя полюсных наконечников 3 предусматривает достаточное увеличение расстояния (воздушного зазора) между магнитопроводом 1 и образцом 14. Тем самым практически устраняется поток рассеяния  $\Phi_{рз}$  (рис. 3).

Размещение каркасов 11, 12 с секциями измерительной обмотки на краях наконечников 3 (рис. 1) позволяет измерять только рабочие магнитные потоки  $\Phi$ , зондирующие испытуемый образец. Потоки рассеяния  $\Phi_{р0}$ ,  $\Phi_{р1}$  и  $\Phi_{р3}$  не учитываются, поскольку они не пересекают плоскость измерительных катушек 11 и 12 (рис. 3). Кроме этого, наличие двух секций измерительной обмотки дает возможность увеличить чувствительность преобразователя к измеряемым величинам.

Приспособление 7 (рис. 1) необходимо для точного центрирования образцов различных типоразмеров и форм относительно осей симметрии преобразователя, что особенно важно для обеспечения заданной точности измерений при испытаниях замкнутых образцов.

Таким образом, все перечисленные конструктивные решения в совокупности позволяют реализовать в конструкции преобразователя отстройку от влияния ряда потоков рассеяния на результаты контроля,

улучшить характеристики точности измерений с помощью преобразователя, повысить его чувствительность.

Однако и такому преобразователю свойственны влияющие на точность измерений факторы. Это магнитные сопротивления воздушных зазоров в зонах контактов полюсных наконечников с магнитопроводом и образцом, а также проводимости путей утечек магнитного потока в воздухе, шунтирующие магнитные сопротивления образцов (либо половин детали замкнутой формы).

Для существенного уменьшения влияния магнитных сопротивлений указанных зазоров в конструкции преобразователя также предусмотрен ряд конструктивных и подготовительных мер. Во-первых, это достаточно сильное и стабильное прижатие образца к полюсным наконечникам и последних к магнитопроводу посредством упоров пружин прижимного приспособления. Во-вторых, контактные поверхности наконечников и магнитопровода тщательно шлифованы. Кроме того, влияние проводимостей путей утечек потока в воздухе, шунтирующих магнитные сопротивления изделия, можно значительно уменьшить, используя предварительную градуировку преобразователя с использованием аттестованных стандартных образцов серийной продукции.

При работе преобразователя в режиме измерений динамических магнитных характеристик для выполнения требования полного промагничивания изделия в его поперечном сечении необходимо выполнение еще двух условий:

- глубина  $\delta$  проникновения переменного магнитного поля должна быть больше половины толщины контролируемого образца;
- глубина  $\delta$  проникновения переменного магнитного поля должна быть больше половины толщины пластины шихтованного магнитопровода.

Указанные требования математически можно представить в виде

$$\delta = \sqrt{2/(\mu_0 \mu_{r0} \sigma_0 \omega)} > \Delta_0 / 2, \quad (1)$$

$$\delta = \sqrt{2/(\mu_0 \mu_{rM} \sigma_M \omega)} > \Delta_M / 2, \quad (2)$$

где  $\mu_0$  - магнитная постоянная,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м,  $\mu_{r0}$  и  $\mu_{rM}$  - магнитные проницаемости материала образца и пластины шихтованного магнитопровода соответственно;  $\sigma_0$  и  $\sigma_M$  - удельные электрические проводимости материала образца и пластины магнитопровода соответственно;  $\omega$  - круговая частота изменения магнитного поля;  $\Delta_0$  и  $\Delta_M$  - толщина образца и пластины магнитопровода соответственно.

Это требование выполняется путем предварительных расчетов величин указанных глубин проникновения и последующего выбора пластин для

шихтованного магнитопровода преобразователя с толщиной не более величины  $\Delta_M$  с учетом использования его для испытаний образцов, толщина которых не превышает величины  $\Delta_0$ .

Удобство применения обеспечивается практически всеми узлами конструкции, в частности элементами прижимного и центрирующего устройств.

*Автоматизация* процесса подготовки пермеаметра к измерениям (установки и фиксации испытуемого образца на полюсных наконечниках) достаточно легко осуществляется за счет механического сопряжения упоров 5 с простейшим двухпозиционным манипулятором.

*Удобство* применения обеспечивается практически всеми узлами конструкции, в частности элементами прижимного и центрирующего устройств.

В целом конструкция пермеаметра не перегружена нефункциональными деталями, поэтому является *простой* и достаточно *надежной*.

Следует обратить внимание на то, что элементы конструкций сопряженные с магнитопроводами, их полюсными наконечниками, должны выполняться из немагнитных непроводящих материалов.

Итак, сформулирован ряд требований, предъявляемых к конструированию пермеаметров, которые представляются универсальными и практически важными при решении задач автоматизации магнитного неразрушающего контроля и магнитных измерений. Также предложена методика анализа элементов конструкции пермеаметра при выполнении каждого поставленного требования. На примере конструкции типового пермеаметра предложены конкретные конструкционные элементы и меры, направленные на выполнение поставленных требований.

Задачей дальнейшей работы является разработка методики расчета параметров элементов конструкций пермеаметров и проектирование с учетом поставленных требований конструкций новых пермеаметров, обеспечивающих повышенную точность магнитных измерений и широкий ассортимент контролируемых промышленных изделий.

**Список литературы:** 1. *Кифер И.И.* Испытания ферромагнитных материалов. –М.: Энергия, 1969. – 360 С. 2. Испытание магнитных материалов и систем / Под ред. *А.Я.Шихина*. –М.: Энергоатомиздат, 1984. 3. *Селезнев Ю.В., Маслов Ю.Н., Рыжков Г.П., Бабиков М.А.* Автоматический контроль магнитных параметров. – М.:Высшая школа, 1971. 4. А.с. 901958 (СССР). Устройство для определения магнитных характеристик ферромагнитных замкнутых образцов / *В.П.Себко*. Оpubл. в Б.И. – 1982. - № 4. 5. А.с. 1377790 (СССР). Устройство для измерения магнитных характеристик ферромагнитных образцов / *А.А.Авраменко, В.П.Себко, Н.Н.Сиренко*. Оpubл. в Б.И. – 1988. - № 8. 6. *Себко В.П., Сиренко Н.Н.* Устройство контроля магнитных характеристик изделий из электротехнических сталей. – В кн.: Вестник Харьковского политехнического института, 1989, № 264. Электротехника и автоматизация энергоустановок, вып. 16, с. 53 – 55.

*Надійшла до редакції 15.04.12*