

Лабораторная работа № 2

Расчет соленоидов переменного тока для намагничивания и размагничивания стальных деталей при магнитном контроле.

Цель работы:

1. Ознакомление с методом расчета соленоидов.
2. Проведение расчетов соленоидов для намагничивания и размагничивания деталей различных по конфигурации и размерам.

Установки для магнитного контроля размещают в отдельном помещении. Допускается расположение их в производственном потоке, при условии если отведенный под эти установки участок не граничит с зонами повышенного содержания пыли и имеет площадь не менее 15-20 м². Для контроля крупных и тяжелых деталей над дефектоскопом необходимо установить подъемный кран.

В оборудование магнитного дефектоскопа обязательно должно входить устройство для регулирования тока и амперметр для непосредственного отсчета тока в намагничивающей цепи. Для контроля деталей сложной формы и больших размеров дефектоскопы снабжаются особо гибкими проводами сечения 100-200 мм². Необходимую мощность дефектоскопов для циркулярного намагничивания устанавливают, исходя из поперечных размеров проверяемых на нем деталей. Максимальная сила тока в дефектоскопах для циркулярного намагничивания может изменяться в пределах от 50 до 10000 А при напряжении холостого хода до 24-36 В. Соленоиды для намагничивания и размагничивания деталей удлиненной формы должны иметь магнитное поле не менее 150 эрстед при вставленной детали. Для намагничивания дисков напряженность поля в соленоиде должна быть не ниже 400-450, а для размагничивания не ниже 200 эрстед.

Напряженность магнитного поля в соленоиде в общем виде выражается формулой

$$H = K \cdot I, \quad (1)$$

где H - напряженность магнитного поля в эрстедах;

K - постоянная соленоида, зависящая от размеров соленоида и числа его витков;

I - ток, протекающий по обмотке соленоида в амперах.

Снижение переменного тока в соленоиде, при внесении в него ферромагнитной детали, зависит, главным образом, от следующих факторов:

- формы детали;
- размеров детали по сравнению с размерами соленоида;
- числа витков соленоида;
- марки стали и ее термической обработки.

Расчет соленоидов производится на основании следующих величин:

- напряжения сети U ;
- напряженности магнитного поля H в центре соленоида при внесенной

детали;

- размеров детали;
- формы сечения детали;
- назначения соленоида.

Расчет соленоида сводится к определению:

- а) размеров обмотки соленоида, т.е. его длины и поперечного сечения;
- б) числа витков соленоида;
- в) сечения провода обмотки соленоида.

Схема конструкции соленоида представлена на рис.1.

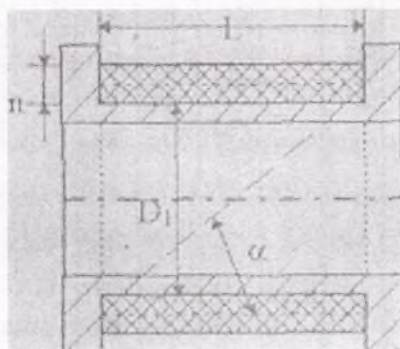


Рис. 1. Схема конструкции соленоида,

1. Влияние формы детали при расчете переменного тока.

Вследствие поверхностного эффекта форма детали влияет на распределение магнитного потока между деталью и воздушной средой соленоида. Поэтому при внесении в соленоид деталей одинаковой по величине сечения, но различной формы, величина снижения тока также будет различной. Это положение подтверждается проведенными экспериментами. Например, при внесении в соленоид детали двутаврового сечения, происходит снижение тока приблизительно на 30% больше, чем при детали круглого сечения одинаковой величины. Внесение в соленоид массивной болванки и трубы одинакового наружного диаметра, с толщиной стенки более 3 мм, дает приблизительно одинаковое снижение тока, несмотря на то, что сечение болванки в несколько раз больше сечения трубы.

В связи с этим необходимо вводить поправочный коэффициент, учитывающий влияние формы сечения детали на величину снижения тока в соленоиде.

Ввиду большого разнообразия форм сечения деталей, подлежащих магнитному контролю в соленоиде, нецелесообразно и громоздко определять этот коэффициент для каждой формы детали; он найден экспериментально для наиболее распространенных, типичных форм сечения. Остальные детали с известной степенью точности следует относить к той или иной группе деталей.

Деталь наиболее простой формы сечения, например, сплошной цилиндр правильной формы с сечением в виде круга принимается за единицу, за эталон. Путем сравнения величины тока в соленоиде при внесении в него эталонной детали, с величиной тока в этом же соленоиде при внесении в него детали другой формы получаем поправочный коэффициент формы сечения детали, который вычисляется по формуле:

$$\varphi = I_э / I_д,$$

где: $I_э$ - ток в соленоиде при внесении эталонной детали;

$I_д$ - ток в соленоиде при внесении детали данной формы.

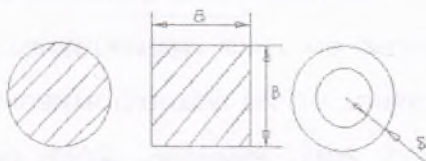
Значения для наиболее типичных форм сечения деталей приведены на рис.2.

2. Определение расчетного сечения деталей.

Массивные детали без отверстий и простой формы сечения (круг, многогранник) приняты за единицу - за эталон, с которым сравниваются все остальные детали, поэтому расчетное сечение этих деталей равно площади их сечения без каких-либо поправок, т.е. коэффициент φ для них равен единице.

Расчетное сечение пустотелых деталей простой формы равно площади сечения, вычисленной по наружным размерам сечения без учета любых,

имеющихся в нем отверстий, умноженной на поправочный коэффициент (ρ 1, взятый по кривой на рис.3. Эта кривая построена по данным, приведенным на рис.2.



a / b	1	1,5	5	10	50
φ	1,03	1,04	1,13	1,23	1,44

8	20	10	6	5	0,75
φ	1,03	1,04	0,95	0,94	0,78

Рис.2. Таблица поправочного коэффициента формы сечения детали,

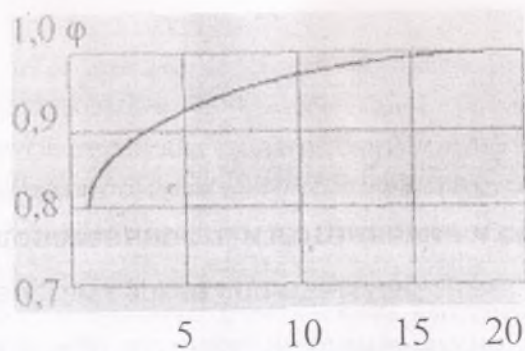


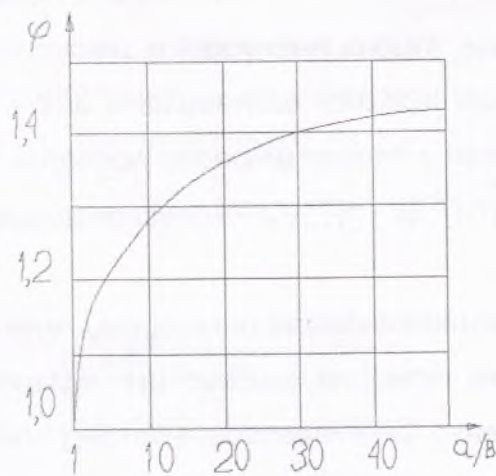
Рис.3. Зависимость коэффициента формы сечения детали φ от толщины стенок пустотелых деталей.

Таким образом расчетное сечение пустотелых деталей простой формы определяется по формуле:

$$Q_{\text{дет}} = \varphi_3 \cdot S, \quad (2)$$

где S - сечение детали без учета любых, имеющих в нем отверстий. Расчетное сечение деталей прямоугольного и квадратного сечения следует определять по формуле (2), а значение φ по диаграмме на рис.4.

Рис.4. Зависимость коэффициента формы сечения детали от величины отношения большей стороны прямоугольника к меньшей стороне.



Формула для определения расчетного сечения будет иметь следующий вид:

$$Q_{\text{дет}} = \varphi_3 \cdot \varphi_4 \cdot S \quad (3)$$

Расчетное сечение дисковых деталей равно толщине диска, умноженной на его диаметр. Длину детали определяют по зависимости:

$$L_{\text{дет}} = 0.75D \quad (4)$$

3. Определение размеров соленоида.

Для вычисления размеров соленоида необходимо знать следующие значения:

1. Коэффициент заполнения соленоида деталью по его сечению; этот коэффициент равен отношению расчетного сечения детали $Q_{дет}$, к сечению соленоида Q , вычисленному по его внутренним размерам; для круглого сечения $Q_{дет} = 0,75 D_{дет}^2$, а для прямоугольного сечения $Q = s \cdot e$. Обозначим этот коэффициент буквой a , тогда :

$$a = Q_{дет} / Q.$$

2. Коэффициент заполнения соленоида по его длине, который равен отношению расчетной длины детали L к длине соленоида.

Обозначим этот коэффициент буквой b , тогда:

$$b = L_{дет} / L \quad (6)$$

Отсюда получим размеры соленоида:

$$\text{Сечение соленоида: } Q = Q_{дет} / a; \quad (7)$$

$$\text{Длина соленоида: } L = L_{дет} / b \quad (8)$$

3. Коэффициент снижения тока в соленоиде при внесении в него детали, равной отношению тока в соленоиде без детали I_0 к току в соленоиде при внесенной в него детали I . Обозначим этот коэффициент буквой c , тогда

$$c = I_0 / I. \quad (9)$$

Функциональные зависимости всех коэффициентов представлены на кривых рис.5, 6. Графики, изображенные на рис.5, предназначены для расчета соленоидов, питающихся от сети 220-380 В, а графики на рис. 6 - для соленоидов, питающихся напряжением до 28В.

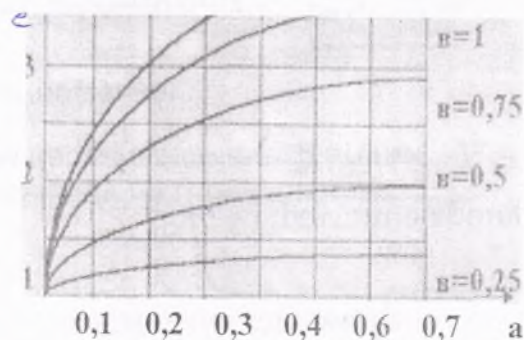


Рис. 5

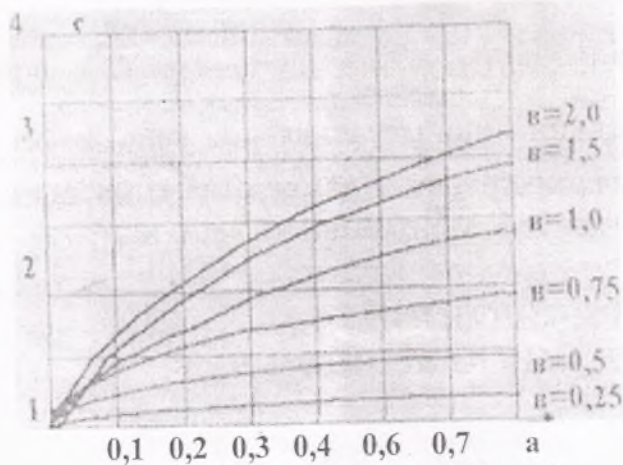


Рис. 6

Выбор величины коэффициентов с и в .

При выборе числового значения коэффициента с необходимо учитывать следующие: при малом значении с при внесении детали в соленоид будет меньшее снижение тока. Однако это приводит к большим размерам соленоида, что потребует большего количества медного провода и большего расхода энергии. Поэтому величину с. рекомендуется брать при питании $U=220-380V$ около 1,5-2, а при $U=28V$ -1,2* 1,5.

Величину коэффициента в для соленоидов, предназначенных для намагничивания деталей, а также для размагничивания деталей при помощи снижения тока в соленоиде до нуля необходимо выбирать в диапазоне 0,25-1,0.

Расчетный ток в соленоиде без внесенной детали, т.е. расчетный ток:

$$I_0 = C \cdot I \quad (10)$$

Соответственно расчетная напряженность магнитного поля в эрстедах:

$$H_0 = K \cdot I_0 = K \cdot C \cdot I = H \cdot C \quad (11)$$

4. Вычисление числа витков соленоида.

Число витков соленоида определяется по формуле:

$$\omega = \frac{p \cdot U \cdot 10^8}{4.44 \cdot f \cdot \sqrt{2} \cdot H_0 \cdot Q} \quad (12)$$

где p - поправочный коэффициент, зависящий от формы соленоида, т.е. от отношения внутреннего диаметра соленоида D_1 к длине соленоида L -, выбирается по диаграммам на рис.7;

U - напряжение сети в вольтах;

f - частота сети в периодах в секунду;

Q - сечение соленоида в $см^2$;

H - расчетная напряженность магнитного поля в эрстедах.

Для сети с частотой 50 Гц формула (12) принимает вид:

$$\omega = \frac{p \cdot U \cdot 10^8}{3.14 \cdot H_0 \cdot Q} \quad (13)$$

0,9P

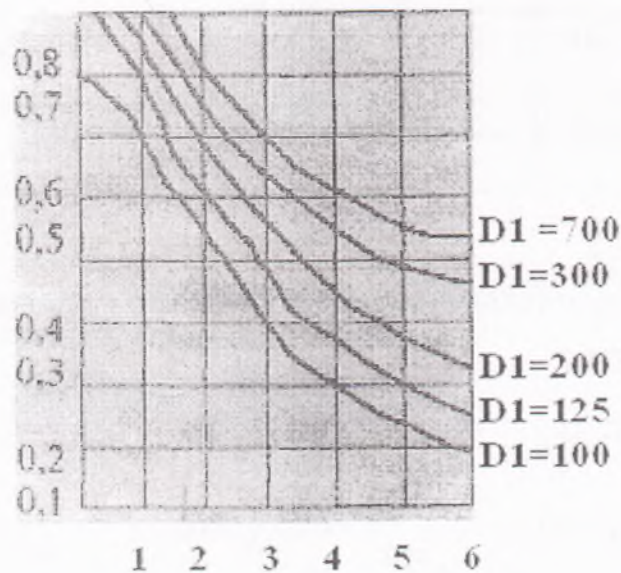


Рис.7. Зависимость поправочного коэффициента p от формы соленоида.

После определения количества витков соленоида по формуле (13) необходимо скорректировать все полученные ранее величины. Действительный коэффициент снижения тока будет равен:

$$c' = g \cdot c$$

Коэффициент g берется из таблицы 1. Действительные величины:

а) числа витков $\omega' = \omega \cdot c / c'; (15)$

б) тока $I'_0 = I_0 \cdot c' / c; (16)$

в) напряженности $H'_0 = H_0 \cdot c' / c; (17)$

Таблица 1.

ω	g	ω	g	ω	g	ω	g	ω	g
4	0,915	20	0,86	80	0,97	600	1,015	1200	1,065
5	0,95	25	0,89	100	0,976	700	1,025	1300	^ 0 7
6	1,00	30	0,91	200	0,98	800	1,035	1400	1,08
8	1,09	50	0,94	415	1,00	1000	1,045	1600	1,095
9	1,145	60	0,955	500	1,005	1100	1,055	1700	1,10

5- Определение числа ампер-витков и определение сечения провода.

Число ампер-витков, необходимое для создания расчетной напряженности магнитного поля, вычисляется по формулам:

$$AW = I_0 \cdot \omega = \frac{H_0 \sqrt{D_0^2 + L^2}}{0.4\pi} \quad (18)$$

или

$$AW = I_0 \cdot \omega = \frac{H_0 L}{0.4\pi \cdot \cos\alpha} \quad (19)$$

где D - средний диаметр соленоида.

При вычислении ампер-витков сдвигаются толщиной обмотки h , а после размещения обмотки h вычисляется по формуле:

$$h = n_B \cdot \frac{d_{из}}{\gamma} \quad (20)$$

где d - диаметр изолированного провода; γ - коэффициент плотности укладки

($\gamma = 0,85-0,9$ для соленоидов прямоугольного и круглого сечения соответственно);

n - число слоев обмотки.

Зная ампер-витки и число витков, необходимый ток в соленоиде определяют по формуле:

$$I_0 = AW/\omega \quad (21)$$

Задавшись плотностью тока δ_0 а/мм², находят сечение провода в мм²

$$q = I_0 / \delta \quad (22)$$

Плотность тока рекомендуется выбирать равной $\delta = 15$ а/мм², учитывая кратковременность работы соленоида.

В случае многослойной обмотки необходимо изолировать один слой от другого любым изоляционным материалом.

Число витков в слое n определяется по формуле:

$$n_c = L \cdot \Delta / d_w - 1 \quad (23)$$

где Δ - коэффициент плотности намотки ($\Delta = 0,95-0,98$ при ручной и машинной намотке соответственно);

L - длина соленоида в мм.

Число слоев обмотки n определяется по формуле:

$$n_n = \omega / n_c \quad (24)$$

Выполнить расчет соленоидов переменного тока в соответствии с заданием, выданным преподавателем. Задаются следующие величины: напряжение, напряженность магнитного поля в центре соленоида, размеры детали, форма сечения детали; указывается назначение соленоида.

Контрольные вопросы:

1. Особенности применения магнитного метода.
2. Объекты контроля, их характеристики.
3. Влияние формы детали при расчете соленоида переменного тока,
4. Коэффициент заполнения соленоида деталью, его определение.
5. Выбор величины коэффициента снижения тока.
6. Определение напряженности магнитного поля соленоидов.
7. Выбор величины напряжения сети, питающей соленоид.

Список использованной литературы.

1. Белокур И.П. Дефектоскопия и неразрушающий контроль.-Киев: Выща школа, 1990-208 с.
2. Методы магнитного и магнитно-люминисцентного контроля стальных деталей. /Сборник инструкций.-М.Юборонгиз, 1956-104с.
3. Белокур И.П., Коваленко В.А. Дефектоскопия материалов и изделий.-Киев: Техника, 1989-192с.
4. Кушнарченко С.Г. Неразрушающие методы контроля и испытаний элементов летательных аппаратов.-Харьков: ХАИ, 1975-60с.