

5. Виноделие. Перечень нормативных документов [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.belproduct.com>. – Дата доступа: 04.02.2012.

6. Консервы плодовые и ягодные для детского питания. Технические условия: ГОСТ 15849-89 [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.belproduct.com>. – Дата доступа: 04.02.2012.

7. Об утверждении, введении в действие, изменении и отмене технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации: пост. Гос. Комитета по стандартизации Респ. Беларусь от 23.10.2008. № 52 [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.pravoby.info>. – Дата доступа: 04.02.2012.

УДК 621.723

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 13.06.2011

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОДНОРОДНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Л.М. Акулович, докт. техн. наук, профессор, А.М. Ефимов, магистрант, А.В. Линник, аспирант (БГАТУ)

Аннотация

Предложена и проанализирована методика расчета магнитной системы станков для магнитно-абразивной обработки и магнитно-электрического упрочнения.

The method of calculation of magnetic system of machine tools for magneto-abrasive processing and magneto-electric hardening is offered and analyzed.

Введение

Одним из прогрессивных процессов финишной обработки поверхностей деталей машин является магнитно-абразивная обработка (МАО). Она позволяет при минимальном съеме металла активно воздействовать на обрабатываемую поверхность и формировать микрогеометрию и физическо-механические свойства поверхности, обеспечивающие требуемые эксплуатационные свойства обработанных поверхностей [1].

При МАО роль связки магнитно-абразивного порошка выполняет энергия магнитного поля, способная удерживать зерна порошка в подвижно-координированном состоянии и формировать абразивную «щетку», которая обуславливает условия абразивного резания.

Производительность процесса МАО и качество обрабатываемых поверхностей определяются геометрическими параметрами рабочей зоны и градиентом магнитной индукции. Указанные параметры формируют магнитную систему, которая составляет основу станков для МАО. Магнитная система должна удовлетворять основному требованию – создавать максимальную магнитную индукцию при минимальной магнитодвижущей силе.

Основная часть

Для процесса МАО важна однородность магнитного поля в рабочей зоне. В станках для МАО магнитное поле создают с использованием двух и более электромагнитных катушек.

Для получения однородного магнитного поля с учетом принципа суперпозиции требуется, чтобы векторная сумма напряженностей полей источников

была постоянной в заданном объеме. Установлено [2, 3], что однородность магнитного поля в зазоре δ лучше всего обеспечивается системой из двух электромагнитных катушек (рис. 1), в которой:

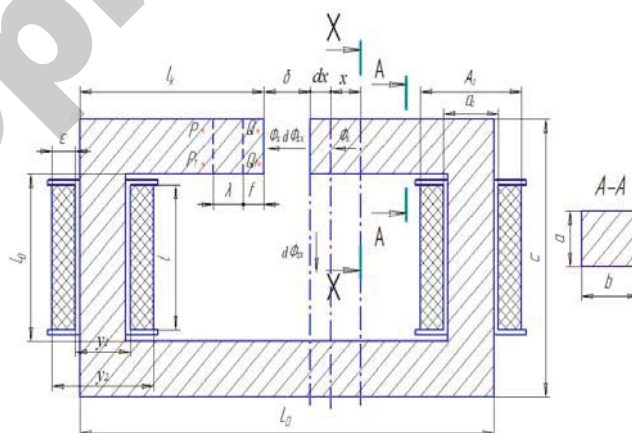


Рисунок 1. Схема магнитной системы с двумя электромагнитными катушками

а) расстояние A между геометрическими центрами катушек равно их среднему радиусу

$$A = \frac{y_1 + y_2}{2},$$

где $y_1 + y_2$ – внутренний и внешний радиусы катушки;

б) толщина обмотки – $\varepsilon = y_1 + y_2$;

в) длина катушки l мала по сравнению с расстоянием между геометрическими центрами катушек A .

Неоднородность магнитного поля, зависящая от конструкции магнитной системы, объясняется неодинаковым падением магнитного потенциала по длине магнитопровода в верхней и нижней точках его поперечного сечения [3, 4]. Магнитный поток Φ от электромагнитов проходит до точки P более короткий путь, чем до точки P_1 . Поэтому между точками P и P_1 возникает разность магнитных потенциалов, которая создает неоднородность магнитного поля по высоте зазора.

В реальных конструкциях электромагнитов потоки рассеяния, как правило, имеют сложную форму и образуемые ими поля не всегда поддаются математическому описанию. Поскольку потоки рассеяния всегда существенно меньше рабочего магнитного потока, то в расчетах магнитных систем для МАО их, как правило, не учитывают.

Более точный расчет магнитных цепей с учетом рассеяния можно получить, используя общее дифференциальное уравнение, характеризующее магнитную цепь. Участку магнитной цепи $x + dx$ (рис. 1) соответствует магнитный поток $\Phi_x - d\Phi_x$ и разность магнитных потенциалов:

$$U_{mx} - (-dU_{mx}) = U_{mx} + dU_{mx}.$$

Наличие зазора δ обуславливает появление магнитного потока рассеяния $d\Phi_{sx}$ от полюсного наконечника до основания магнитной системы.

Величину приращения разности магнитных потенциалов на участке dx можно определить используя методические подходы [3, 4]:

$$dU_{mx} = -(\theta - \Phi_x r_{mx}) dx, \quad (1)$$

где r_{mx} – суммарное магнитное сопротивление единицы длины магнитной цепи (сердечника и полюсного наконечника) в рассматриваемом месте (в общем случае магнитное сопротивление по длине магнитопровода является переменным из-за нелинейности кривой намагничивания); θ – удельная намагничивающая сила обмотки, приходящаяся на единицу длины сердечника.

Определим приращение потока в сердечнике при переходе от сечения X к участку $x + dx$, которое равно потоку рассеяния на участке dx :

$$d\Phi_x = d\Phi_{sx}.$$

Определим величину элементарного потока рассеяния

$$d\Phi_{sx} = U_{ms} \mu_r dx, \quad (2)$$

где μ_r – магнитная проницаемость потока рассеяния между сердечником и корпусом на единицу длины сердечника.

Так как $d\Phi_x = d\Phi_{sx}$, уравнение (2) примет вид:

$$\frac{d\Phi_x}{dx} = U_{ms} \mu_r,$$

а уравнение (1) примет вид:

$$\frac{dU_{mx}}{dx} = -(\theta - \Phi_x r_{mx}).$$

Таким образом, получаем систему уравнений:

$$\frac{d\Phi_x}{dx} = U_{ms} \mu_r$$

$$\frac{dU_{mx}}{dx} = -(\theta - \Phi_x r_{mx}).$$

Эти уравнения являются исходными для расчета магнитных цепей. Продифференцировав полученные уравнения по x ,

$$\frac{d^2\Phi_x}{dx^2} = \mu_r \frac{dU_{mx}}{dx},$$

$$\frac{d^2U_{mx}}{dx^2} = r_{mx} \frac{d\Phi_x}{dx},$$

получаем

$$\frac{d^2\Phi_x}{dx^2} = \Phi_x r_{mx} \mu_r. \quad (3)$$

Это уравнение является уравнением магнитной цепи, которое определяет закон изменения величины магнитного потока по длине магнитопровода.

Рассмотрим пример расчета магнитной цепи

Дано: $a = 0,04$ м, $b = 0,05$ м, $l_k = 0,114$ м, $\delta = 0,002$ м. Определить намагничивающую силу катушек IW , которая обеспечит индукцию в зазоре $B = 1,4$ Тл и данные обмотки катушек. Рабочий поток Φ в воздушном зазоре при индукции $B = 1,4$ Тл на заданном сечении

$$S = ab = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

равен

$$\Phi_\delta = BS = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}.$$

Находим значение потоков в других точках магнитной системы с помощью коэффициента рассеяния.

Поток рассеяния $\Phi_0 = \Phi_\delta G_x$. У торцов сердечника ($x = 0$) $\Phi_0 = \Phi_\delta G_0$. Здесь G_x – коэффициент рассеяния, представляющий собой отношение полной величины проходящего через данное сечение потока $\Phi_x = \Phi_\delta + \Phi_{sx}$ к потоку в рабочем воздушном зазоре Φ_δ .

Таким образом,

$$\Lambda_x = \frac{\Phi_x}{\Phi_\delta} = \frac{\Phi_\delta + \Phi_{sx}}{\Phi_\delta} = \frac{\Phi_\delta}{\Phi_\delta} + \frac{\Phi_{sx}}{\Phi_\delta} = 1 + \frac{\Phi_{sx}}{\Phi_\delta},$$

но для $x = 0$ $\Lambda_0 = \frac{\Phi_0}{\Phi_\delta} = 1$ и, следовательно,

$$\Phi_0 = \Phi_\delta = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}.$$

Поток на расстоянии $x = 0,5l_k$, $l_k = 0,114$ м.

$$\Phi_{0,5} = \Phi_{\delta} \Lambda_{0,5},$$

где

$$\Lambda_{0,5} = \Lambda_x = 1 + \frac{\mu_r}{\Lambda_n} \cdot \frac{x}{2} \left(2 - \frac{x}{l_k}\right) = 1 + \frac{\mu_r}{\Lambda_n} \cdot \frac{0,5l_k}{2} \cdot \left(2 - \frac{0,5l_k}{l_k}\right) = 1 + \frac{\mu_r}{\Lambda_n} \cdot \frac{0,5 \cdot 1,5l_k}{2} = 1 + \frac{\mu_r}{\Lambda_n} 0,375l_k$$

Из последнего выражения неизвестными остаются значения μ_r – удельной проводимости рассеяния, рассчитанной для данного магнитопровода, и Λ_n – суммарной начальной проводимости рабочих зазоров. Определим

$$\mu_r = \frac{\Lambda_s}{h},$$

где Λ_s – полная проводимость рассеяния, за исключением параллельных граней, обращенных в разные стороны.

Так как в нашем случае поле близко к плоскопараллельному [3], в направлении $l_k = h$, и $c = l_0 + 2a$, то

$$\mu_r = \frac{\Lambda_s}{h} = \mu_0 \left(\frac{b}{c} + 0,52 + \frac{1,28a}{c+a} \right) = 1,36 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$$

Суммарная начальная проводимость (поскольку в нашем примере имеем один воздушный зазор) $\Lambda_n = \Lambda_{\delta}$.

Проводимость рабочего зазора можно определить с учетом выпучивания с торца полюса (Λ_{δ}) и без учета (Λ_{δ}).

Для определения проводимости без учета выпучивания с торца полюса воспользуемся формулой

$$\Lambda_{\delta} = \mu_0 \frac{S}{\delta},$$

где μ_0 – магнитная постоянная, равная $1,256 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$; S – площадь сечения магнитопроводов; δ – длина рабочего зазора.

Для более точного расчета целесообразнее учесть выпучивание в процентах от величины полной проводимости для различных значений $\frac{a}{\delta}$.

Получаем,

$$\Lambda_{\delta} = \mu_0 \left[\frac{a^2}{\delta_1} + 0,58a + \frac{0,14a}{\ln(1,05 + \frac{\delta_1}{a})} \right] = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}.$$

Это выражение является уравнением проводимости для торцовых поверхностей прямоугольных полюсов. При необходимости можно сделать сравнение проводимостей с учетом выпучивания и без него.

Найдя μ_r и $\Lambda_n = \Lambda_{\delta}$, определяем

$$\Phi_{0,5} = \Phi_{\delta} \Lambda_{0,5} = \Phi_{\delta} \left(1 + \frac{\mu_r}{\Lambda_n} 0,375l_k \right) = 2,88 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}.$$

На расстоянии $x = l_k$ поток

$$\Phi_1 = \Phi_{\delta} \Lambda_1 = \Phi_{\delta} \left(1 + \frac{\mu_r}{\Lambda_n} 0,5l_k \right) = 2,91 \cdot 10^{-3} \text{ Вб},$$

где

$$\Lambda_1 = 1 + \frac{\mu_r}{\Lambda_n} \frac{x}{2} \left(2 - \frac{x}{l_k} \right) = 1 + \frac{\mu_r}{\Lambda_n} \frac{l_k}{2} \left(2 - \frac{l_k}{l_k} \right) = 1 + \frac{\mu_r}{\Lambda_n} \frac{l_k}{2}$$

Определим индукцию, соответствующую магнитным потокам. В рабочем воздушном зазоре протекает поток Φ_{δ} , которому соответствует индукция $B_0 = 1,4 \text{ Тл}$ (по заданию). Зная величины потоков в остальных частях магнитопровода, можно определить индукцию в этих частях:

$$B_0 = \frac{\Phi_{0,5}}{S} = 1,44 \text{ Тл};$$

$$B_1 = \frac{\Phi_1}{S} = 1,46 \text{ Тл}.$$

По кривой намагничивания находим соответствующие этим значениям индукции величины напряженности поля, принимая во внимание, что магнитопровод выполнен из стали 3: $H_0 = 1700 \text{ А/м}$; $H_{0,5} = 1900 \text{ А/м}$; $H_1 = 2050 \text{ А/м}$.

Так как напряженность поля в магнитопроводе по его длине изменяется, находим ее среднее расчетное значение:

$$H_{\text{ср.расч}} = \frac{H_0 + 4H_{0,5} + H_1}{6} = 1891 \text{ А/м}.$$

Определим намагничивающую силу обмотки как сумму намагничивающих сил на всех участках магнитопровода для того, чтобы видеть падение намагничивающих сил в воздушном зазоре:

$$\begin{aligned} IW &= (IW)_{\delta} + (IW)_{\text{см}} + \frac{\Phi_{\delta}}{\Lambda_n} + (2Hl_k + 2Hl_c + 2Hl_0) = \\ &= \frac{\Phi_{\delta}}{\Lambda_n} + (2H_0l_k + 2H_{\text{ср.расч}}l_c + H_1l_0 + H_1l_0) = \\ &= 2545 + 3960 = 6505 \text{ А}. \end{aligned}$$

Таким образом, $(IW)_{\delta}$ составляет 64% $(IW)_{\text{см}}$.

Теперь считаем обмоточные данные катушек намагничивания магнитной системой. Полученную расчетным путем намагничивающую силу $IW = 6505A$ нужно обеспечить двумя катушками. Принимаем напряжение питания катушек $220V$ и намагничивающую силу каждой обмотки $IW_1 = IW_2 = 3252 A$.

Дано: $l_0 = 82 мм$ – длина окна обмотки;
 $D_0 = B_0 = 110 мм$ – внешний размер катушки;
 $a_0 = 40 мм$, $b_0 = 50 мм$ – внутренний размер катушки. Определяем обмоточные данные катушек. Длина среднего витка катушки

$$l_{cp} \frac{\pi(D_0 + d_0)}{2} = 0,24 м.$$

Диаметр провода, необходимый для соединения заданной намагничивающей силы

$$d = \sqrt{\frac{4\rho_g l_{cp} IW_1}{\pi U}} \approx 1,0 мм.$$

Берем провод диаметром $d = 1,0 мм$ и с изоляцией $d_1 = 1,1 мм$. Число витков

$$W = \frac{(B_0 - b_0) l_0 f_y}{2d_1^2} = 9446,$$

где теоретический коэффициент укладки $f_y = 0,90 - 0,95$.

Сопротивление обмотки

$$R = \frac{4\rho_g l_{cp} W}{\pi d^2} = 146 Ом.$$

Ток, протекающий по обмотке

$$I = \frac{U}{R} = 1,5 A.$$

Мощность электромагнитной катушки

$$P = \frac{U^2}{R} = 331 Вт.$$

Плотность тока

$$j = \frac{I}{\frac{\pi d^2}{4}} = 2 A/мм^2.$$

Сделаем ориентировочную проверку катушки по полученной плотности тока j , которую сравниваем с допустимой j_0 . Известно, что для нормального срока службы и продолжительного режима включения обмотки $j_0 = 2-4 A/мм^2$. Для повторно-кратковременного режима

$$j_0 = 5-12 A/мм^2$$

Для кратковременного режима

$$j_0 = 13-30 A/мм^2$$

В нашем случае плотность тока $j = 4 A/мм^2$, значит, обмотка может включаться на продолжительный режим работы.

Определим число витков в ряду

$$W_p = \frac{l_0 f_y}{d_1} = 67.$$

Число рядов

$$n_p = \frac{W}{W_p} \approx 140.$$

Проверим, обеспечивает ли катушка заданную намагничивающую силу:

$$IW = 1,5 \cdot 9446 = 14169 A.$$

По заданию требовалась намагничивающая сила одной катушки $IW = 3252 A$. Следовательно, рассчитанные катушки обеспечивают заданную намагничивающую силу.

Для проверки данного расчета были проведены измерения магнитной индукции в рабочем зазоре (рис. 2).

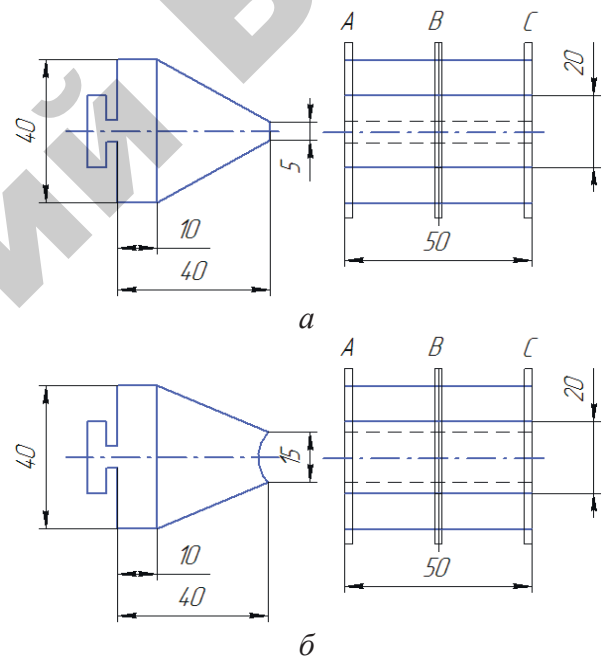


Рисунок 2. Схема расположения датчика Холла при измерении магнитной индукции в рабочем зазоре при МЭУ (а) и МАО (б).

Параметры магнитной системы приведены выше. Измерения проводились на полюсных наконечниках двух видов: для МАО наконечников серповидной формы поперечного рабочего зазора угол охвата наконечника – 90° ; для магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) ширина рабочей поверхности – $5 мм$.

Измерения проводились с помощью оттарированного датчика на основе элемента Холла, на который подавалось постоянное напряжение $30V$ от источника тока Б5-44А, силой тока $25мА$. Выходное напряжение от датчика, равное $153мВ$, соответствовало магнитной индукции $625мТл$. Диаметр обрабатываемой детали 20

мм. Величина рабочего зазора 2 мм. Магнитная индукция в рабочем зазоре измерялась по длине зазора в трех точках, по краям и по центру. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1. Величина магнитной индукции на полюсных наконечниках для МЭУ и МАО

Ток в катушках электромагнита, I, А	Магнитная индукция В, мТл в точках			Средняя магнитная индукция В _{ср} , мТл
	А	В	С	
Полюсные наконечники для МЭУ				
1,0	810	890	930	880
1,5	1280	1340	1400	1340
2,0	1635	1740	1780	1720
Полюсные наконечники для МАО				
1,0	870	710	700	760
1,5	1060	1010	960	1010
2,0	1130	1120	1020	1090

Из таблицы видно несоответствие полученных экспериментальных данных расчетному значению магнитной индукции 1440 – 1460 мТл. Величина несоответствия магнитной индукции у полюсных наконечников для МЭУ составляет 4%, а у полюсных наконечников для МАО – 28%. Это является следствием того, что при расчете не были учтены подвижные части электромагнитной цепи и, следовательно, соответствующие воздушные зазоры, а также геометрия полюсных наконечников.

Компенсировать неоднородность магнитного поля можно выбором соответствующего отношения

диаметра полюсных наконечников к длине зазора, приданием нужной конфигурации поверхности наконечников, подбором материала для них, размещением на концах катушек дополнительных витков, компенсирующих убывание магнитного поля от центра к периферии.

Выводы

На основе приведенной методики произведен расчет и экспериментальные исследования магнитной системы для МЭУ и МАО. Определена величина несоответствия расчетных и экспериментальных значений магнитной индукции у полюсных наконечников: для МЭУ она составляет 4%, а для МАО – 28%. Установлено, что наибольшее влияние на магнитную индукцию в рабочем зазоре оказывают потери в воздушном зазоре и конфигурация полюсного наконечника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле / П.И. Ящерицын [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 1997. – 416 с.

2. Барон, Ю.М. Технология абразивной обработки в магнитном поле / Ю.М. Барон. – Ленинград: Машиностроение, 1975. – 128 с.

3. Сливинская, А.Г. Электромагниты и постоянные магниты / А.Г. Славинская. – Москва: Энергия. – 1972. – 248 с.

4. Буль, Б.К. Основы теории и расчета магнитных цепей / Б.К. Буль. – Москва: Энергия, 1964. – 464 с.

Вакуумная станция для доильных установок

Предназначена для создания вакуумметрического давления в системах машинного доения коров. Может применяться в отраслях промышленности, технологические процессы которых требуют создания вакуума.



Основные технические данные

Станция вакуумная водокольцевая
Тип
Быстрота действия при вакууме 50%, м³/ч
Предельное вакуумметрическое давление, кПа
Потребляемая мощность, кВт
Расход рециркуляционной воды, литров в минуту
Габаритные размеры, мм
Масса, кг, не более

ВВН-75
передвижная
75
90
3,9
8
1500x600x1500
35

Применение установки обеспечивает снижение энергоемкости процесса доения коров до 0,052 кВт/ч/м³ при стабильном вакуумном режиме.