

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ СТАНКА ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

*Акулич А.П., Брестский политехнический институт,
Демиденко Е.Н., Гомельский политехнический институт,
Прибыльский В.И., Институт надежности машин НАНБ*

Магнитно-абразивная обработка осуществляется инструментом, представляющим собой ферро-абразивный порошок, связанный магнитным полем. Естественно, что магнитное поле является определяющим фактором процесса. Управляя величиной и топографией магнитного поля в рабочем зазоре можно управлять процессом обработки.

Для осуществления процесса обработки магнитное поле необходимо передать от его источника до зоны обработки, где полюсные наконечники формируют инструмент и придают ему рабочее движение (вращательное). Проблема заключается в том, что поле в рабочем зазоре должно составлять 0,5...1,2 Тл. Конструктивные особенности магнитных систем определяют сочетания длин и сечений магнитопроводов, которые приводят к большой насыщенности ферромагнитных материалов. В результате, увеличение мощности источника практически не приводит к увеличению поля в рабочем зазоре. Поэтому необходим выбор рационального сочетания всех параметров магнитной системы станка, обеспечивающих заданный процесс обработки изделий.

Для выполнения всех этапов проектирования необходимо рассчитывать магнитное поле, причем с достаточной точностью в любой точке магнитной системы. Принятые в электротехнике методы расчета дают усредненные значения поля и применимы к ненасыщенным ферромагнитным материалам. Поэтому в основе расчета должны лежать фундаментальные уравнения Максвелла. При этом удобно пользоваться скалярным магнитным потенциалом и фиктивными магнитными зарядами.

Для этого магнитное поле раскладывается на вихревую и потенциальную составляющие,

$$H = \bar{H}_p + H_0,$$

где H - напряженность магнитного поля;

H_p - потенциальная составляющая магнитного поля;

H_0 - вихревая составляющая магнитного поля.

Из уравнений Максвелла для магнитостатики можно получить выражение:

$$\operatorname{div} \mu_a \operatorname{grad} U = -\rho$$

представляющее собой уравнение Пуассона, и

$$\rho = -\operatorname{div} \mu_a H_0;$$

$$\operatorname{rot} H_0 = I,$$

где μ_a - магнитная проницаемость среды;

U - скалярный магнитный потенциал;

ρ - объемная плотность магнитных зарядов;

I - объемная плотность электрического тока

Тогда источник магнитного поля (катушка с электрическим током или постоянный магнит) моделируется простыми и двойным слоями магнитных зарядов. При этом магнитный момент двойного слоя численно равен полному электрическому току, проходящему через сечение катушки. Этой же величине равно и максимальное значение скалярного магнитного потенциала.

Расчет магнитного поля производится методом конечных элементов, позволяющим уравнение Пуассона преобразовать в систему линейных алгебраических уравнений.

Разбиение расчетной области конечными элементами, составление и решение системы уравнений производится на ЭВМ. Авторами использовалась специально разработанная программа. Так как задача расчета магнитного поля не линейна: $\mu_a = f(H)$, то ее решение производится методом итераций. По этой же причине для выбора рациональных параметров магнитной системы невозможно использовать математические методы оптимизации.

Из этого следует, что для решения поставленной задачи необходимо рассчитать ряд конструкций с целенаправленным изменением их параметров. За функцию цели принимается величина магнитного поля в интересующей области зазора между полюсными наконечниками.

Расчетная область, включающая в себя магнитную систему, разбивается на конечные элементы (треугольники) до 1000. Вершины конечных элементов образуют узлы, до 1500. В результате расчетов определяются

значения скалярного магнитного потенциала в каждом узле, магнитного поля и магнитной проницаемости в каждом элементе.

Магнитное сопротивление удобно оценивать по изменению значений потенциала по цепи прохождения поля. В идеальном магнитопроводе потенциал не изменяется, напряженность магнитного поля равна нулю, а магнитная проницаемость бесконечности. Чем больше изменение потенциала на отдельном участке цепи, тем больше напряженность поля и меньше проницаемость среды, следовательно больше сопротивление этого участка и потери энергии.

В начальной стадии проектирования назначаются параметры магнитной системы, исходя из опыта. Производится расчет характеристик магнитного поля и назначается функция цели. По изменению потенциала определяются участки магнитопровода с наибольшим сопротивлением. После анализа конструкции и характеристик магнитного поля производятся изменения параметров магнитной системы: исключаются участки магнитопровода с возможными утечками поля; изменяются длина и площадь сечения участков с большими магнитными сопротивлениями. Цикл расчетов и анализа повторяется до получения удовлетворительных результатов. Обычно для выполнения всех этапов проектирования необходимо произвести 15...20 циклов.

Следует отметить, что изменение параметров магнитной системы процесс субъективный, вследствие ее нелинейности. Оценка конструкции и ее участков производится по количественным характеристикам магнитного поля.

Благодаря этому можно спроектировать оптимальную магнитную систему. Например, для магнитно-абразивной обработки внутренней поверхности с радиусом 30 мм спроектирована магнитная система с диаметром полюсных наконечников 50 мм, внутренним диаметром катушки 32 мм, толщиной катушки 4 мм, высотой 140 мм и плотностью тока 3 А/мм^2 . Конструкция обеспечивает поле в рабочем зазоре 0,452Тл. при отсутствии ферро-абразивного порошка и 0,887 Тл. с порошком.

Практически данная магнитная система имеет габариты и потребляемую мощность на порядок меньше, чем существующие.