УДК 621.793

Ж.А. Мрочек, д.т.н., проф.
Белорусский национальный технический университет
Л.М. Кожуро, д.т.н., проф.
Д.Н. Хилько, инж.
Белорусский государственный аграрный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ ФЕРРОМАГНИТНОГО ПОРОШКА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Представлены математические зависимости, позволяющие рассчитать силы взаимодействия частиц ферромагнитного порошка, под действием которых формируются электропроводящие электроды-цепочки в рабочей зоне при осуществлении процесса электромагнитной наплавки поверхности.

Постановка и решение проблемы. Основными факторами, определяющими силы, под действием которых формируются электропроводные цепочки из частиц порошка при электромагнитной наплавке, являются величина магнитного поля и его градиент в рабочей зоне [1]. Если в магнитном поле поместить ферромагнитную частицу порошка, то поле изменится. Это объясняется тем, что всякое вещество является магнетиком, т. е. способно под действием магнитного поля приобретать магнитный момент (намагничиваться). Для объяснения процесса намагничивания тел Ампер предложил считать, что в молекулах вещества циркулируют круговые токи (молекулярные токи). Каждый ток обладает магнитным моментом и создает в окружающем пространстве магнитное поле. Так как намагниченность в ферромагнетике распространяется в поверхностных слоях, для расчета сил взаимодействия частиц ферропорошка можно условно принять, что ферромагнитная частица эквивалентна обернутой вокруг нее ленте с током (рис. 1).

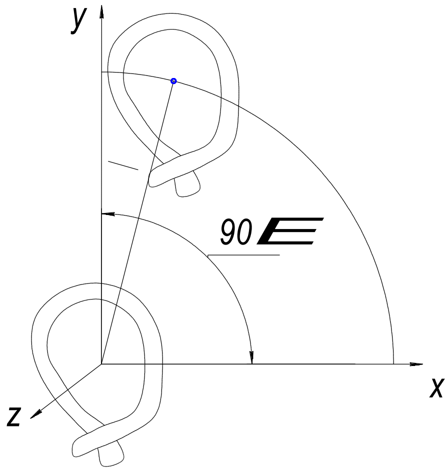

Рис. 1. Схема расчета сил взаимодействия частиц ферропорошка в рабочей зоне при электромагнитной наплавке с представлением модели частицы, эквивалентной ленточной петле с током

Сила, действующая на такую ленту с током, помещенную в магнитное поле, равна

$$\vec{F} = \vec{m} \cdot grad\vec{B}, \tag{1}$$

где $\vec{m}$ – дипольный магнитный момент частицы порошка; $grad\vec{B}$ – вектор градиента магнитной индукции.

Применительно к прямоугольной системе координат зависимость (1) можно записать в виде

$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y = \left(m_x \frac{\partial B_x}{\partial x} + m_x \frac{\partial B_x}{\partial y} \right) \cdot \vec{x}_0 +$$

$$+ \left(m_y \frac{\partial B_y}{\partial x} + m_y \frac{\partial B_y}{\partial y} \right) \cdot \vec{y}_0.$$

Если предположить, что ферромагнитная частица порошка намагничивается однородно, тогда

$$\vec{m} = \vec{J} \cdot V, \tag{2}$$

где $\vec{J}$ – намагниченность частицы вещества; V – объем частицы.

Между наведенным внешним полем $\vec{H}_e$ и намагниченностью частицы $\vec{J}$ существует зависимость [2]:

$$\vec{J} = 3\vec{H}_e \left(\frac{\mu_n - \mu_e}{\mu_n + 2\mu_e} \right), \qquad (3)$$

где μ_n – магнитная проницаемость частицы порошка.

Преобразуем зависимость (3), учитывая, что $B = \mu\mu_0 H$, тогда

$$\vec{J} = 3\frac{B_e}{\mu_o \mu_e} \left(\frac{\mu_n - \mu_e}{\mu_n + 2\mu_e} \right). \qquad (4)$$

Подставляя значение $\vec{J}$ из (4) в уравнение (2), получим возможность определить магнитный дипольный момент

$$\vec{m} = \vec{J} \cdot V = B_e \frac{\pi d^3}{2\mu_o \mu_e} \left(\frac{\mu_n - \mu_e}{\mu_n + 2\mu_e} \right),$$

где d – диаметр условной ферромагнитной частицы.

Находим составляющие магнитного дипольного момента сферической частицы

$$m_x = B_{ex} k_2 = B_e k_2 \left[1 + \frac{k_1}{l^4}\left(x^2 - y^2 \right) \right];$$

$$m_y = B_{ey} k_2 = 2B_o \frac{k_1 k_2}{l^4} xy,$$

где $k_2 = \frac{\pi d^3}{2\mu_o \mu_e} \left(\frac{\mu_n - \mu_e}{\mu_n + 2\mu_e} \right)$.

Таким образом, проведя соответствующие преобразования, составляющие результирующей силы можно определить так:

$$F_x = m_x \frac{\partial B_{ex}}{\partial x} + m_x \frac{\partial B_{ex}}{\partial y} =$$

$$= 2B_o{}^2 \frac{k_1}{l^4} \cdot k_2 x \left[1 + \frac{k_1}{l^4}\left(x^2 - y^2\right) \right] \cdot \left[1 - \frac{2\left(x^2 - y^2\right)}{l^2} \right] +$$

$$+2B_o \frac{k_1 k_2}{l^4} xy \cdot \left[-2B_o \frac{k_1}{l^4} \cdot y \left(1 + \frac{2\left(x^2 - y^2\right)}{l^2} \right) \right] = \qquad (5)$$

$$= 2B_o \frac{k_1 k_2}{l^4} x \left(3 - \frac{4x^2 - k_1}{l^2} \right);$$

$$F_y = m_y \frac{\partial B_{ey}}{\partial x} + m_y \frac{\partial B_{ey}}{\partial y} =$$

$$= 2B_o{}^2 \frac{k_1}{l^4} \cdot k_2 y \left[1 + \frac{k_1}{l^4}\left(x^2 - y^2\right) \right] \cdot \left[1 - \frac{4x^2}{l^4} \right] +$$

$$+2B_o \frac{k_1 k_2}{l^4} xy \left[2B_o \frac{k_1}{l^4} x \left(1 - \frac{4y^2}{l^2} \right) \right] = \qquad (6)$$

$$= 2 \cdot B_o^2 \frac{k_1 k_2}{l^4} y \left(1 - \frac{4x^2 - k_1}{l^2} \right).$$

Тогда результирующая сила, действующая на частицу порошка в рабочей зоне, будет равна

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}\,. \qquad (7)$$

Выводы. Таким образом, полученные аналитические зависимости (5…7) позволяют, в первом приближении, определять силы взаимодействия частиц порошка в рабочей зоне при осуществлении процесса электромагнитной наплавки рабочих поверхностей заготовок деталей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П.* Прогрессивные технологические процессы. – Мн.: Технопринт, 2000. – 264 с.

2. *Демирчян К.С.* Моделирование магнитных полей. – Л.: Энергия, 1974. – 285 с.

МРОЧЕК Ж.А. – доктор технических наук, профессор Белорусского национального технического университета.

Научные интересы:

– электромагнитная наплавка поверхности;
– процессы механической обработки в машиностроении.

КОЖУРО Л.М. – доктор технических наук, профессор Белорусского государственного аграрного технического университета.

Научные интересы:

– процессы механической обработки в машиностроении;
– моделирование магнитных полей.

ХИЛЬКО Д.Н. – инженер Белорусского государственного аграрного технического университета.

Научные интересы:

– прогрессивные технологические процессы.

Подано 17.02.2006