

УДК 621.923

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ  
ОБРАБОТКИ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

**Л.Е. Сергеев, к.т.н., доцент, С.И. Кравченко, студент**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*В работе приведены исследования топографии магнитного поля в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке конических поверхностей деталей сельскохозяйственных машин.*

Для обработки деталей с коническим профилем рабочей части наиболее эффективными способами являются такие, которые основаны на наличии эластичной связки абразивных частиц, и одним из них является магнитно-абразивная обработка (МАО). При МАО используется ферроабразивный порошок (ФАП), который находится в рабочем зазоре в подвижно-скоординированном состоянии. Роль связки между ферроабразивными частицами выполняет магнитное поле, обладающее упругими силами воздействия на порошок.

Однако технологические закономерности распределения магнитных потоков при обработке конических поверхностей используются в неполной мере, что не обеспечивает эффективную обработку поверхности и не позволяет широко применять этот способ. Эффективность МАО зависит от того, как сформируется рабочая технологическая среда (РТС) в виде ФАП и смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) и каким путем электромагнитное поле (ЭМП) взаимодействуют с ней. В связи с этим для интенсификации МАО конических поверхностей необходимо выявить топографию ЭМП в рабочем зазоре, осуществить ее формирование и процесс управления режимами и параметрами ЭМП.

ЭМП в каждой точке пространства и в каждый момент времени характеризуется вектором его напряженности, поскольку, оно рассматривается как самостоятельный материальный объект. Однако, например, использование графических методов определения топографии ЭМП не позволило провести строгий анализ динамического воздействия для МАО внутренних конических поверхностей, показатель конусообразности которых превышал 0,3. Таким образом, правильное технолого-конструкторское решение не должно быть связано с подходом, основанном на нестрогой формализации геометрии исследуемой области, поскольку ее необходимо синтезировать и получить точное представление о картине приложения сил резания, определяемых вектором напряженности  $\vec{H}$ . Таким образом, рост эффективности МАО

обеспечивается грамотным планированием и применением геометрических и кинематических методов оценки и реализацией процесса съема материала при установлении равномерности силового воздействия РТС на все точки обрабатываемой поверхности. Создание требуемой напряженности ЭМП, основанной на геометрическом и силовом варьировании параметров и режимов МАО, гарантирует получение правильной конструкции технологической оснастки и оборудования, приводя к стабилизации давления РТС по всей площади обрабатываемого изделия. Тожественность математического описания МАО с учетом физики процесса обеспечивает управление обрабатываемостью деталей из различных материалов, что позволяет назначать режимы резания при учете особенностей структуры и марки материала изделия, его конфигурации и топологического пространства зоны обработки.

Согласно рисунку 1, в области рабочего зазора I магнитная проницаемость составляет  $\mu_1$ , в области обрабатываемой заготовки II –  $\mu_2$ . Так как во всех этих областях нет тока, поскольку ЭМП создается катушками соленоида электромагнитной системы на достаточно большом расстоянии от вышеуказанных областей, то поле в них описывается при помощи скалярного магнитного потенциала и уравнения Лапласа  $\nabla^2 \varphi_m = 0$ . Основное допущение заключается в том, что длина детали принимается достаточно протяженной по оси z (рисунок 1), которая перпендикулярна чертежу.

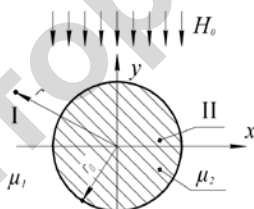


Рисунок 1 - Схема электромагнитного поля при магнитно-абразивной обработке: I – область рабочего зазора; II – обрабатываемая поверхность;  $\mu_1$  – магнитная проницаемость рабочего зазора;  $\mu_2$  – магнитная проницаемость заготовки;  $r_0$  – радиальная координата точки на обрабатываемой поверхности;  $r$  – радиальная координата точки в рабочем зазоре.

Скалярный магнитный потенциал  $\varphi_m$  зависит от координат  $r$  и  $\theta$  цилиндрической системы. Раскроем уравнение  $\nabla^2 \varphi_m = 0$  в цилиндрической системе:

$$\nabla^2 \varphi_m = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \varphi_m}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \varphi_m}{r^2 \partial \theta^2} = 0. \quad (1)$$

Для решения этой задачи необходимо проинтегрировать уравнение Лапласа  $\nabla^2 \varphi_m = 0$ . Для любой конкретной задачи необходим правильный выбор системы координат и выяснение вопроса о том, обладает ли изучаемое поле тем или иным видом симметрии, поскольку эти условия значительно облегчают решение задачи.

Выражение (1) представляет собой уравнение в частных производных, для интегрирования которого применяется метод Фурье: искомую функцию  $\varphi$  полагают в виде произведения двух пока неизвестных функций, одна из которых зависит от  $r$ , а другая от  $\theta$

$$\varphi = f_1(r) f_2(\theta). \quad (2)$$

Вид функций  $f_1(r)$  и  $f_2(\theta)$  в виде произведения подлежит определению, которое позволяет разбить уравнение в частных производных на два обыкновенных дифференциальных уравнения, из которых одно будет составлено относительно  $f(r)$ , другое – относительно  $f(\theta)$ .

Общее решение для  $\varphi$  согласно (2) равно произведению решений уравнений

$$\frac{1}{f(r)} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial f(r)}{\partial r} \right) = 0 \quad \text{и} \quad \frac{1}{f(\theta) \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial f(\theta)}{\partial \theta} \right) = 0, \quad (3)$$

плюс произведение решений уравнений

$$\frac{1}{f(r)} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial f(r)}{\partial r} \right) = p^2 \quad \text{и} \quad \frac{1}{f(\theta) \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial f(\theta)}{\partial \theta} \right) = -p^2, \quad (4)$$

Находится решение путем выбора решения из их большого числа, удовлетворяющих граничным условиям и, поскольку  $f(r)$  зависит только от  $r$ , а  $f(\theta)$  – от  $\theta$ , то от частных производных осуществляется переход к обыкновенным.

Продифференцировав уравнение (4) и подставив результаты в (3), получим уравнение с обыкновенными производными

$$\frac{r}{\varphi_1} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \varphi_1}{\partial r} \right) = -\frac{1}{\varphi_2} \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial \theta^2}. \quad (5)$$

Это равенство справедливо при любых конечных значениях координат  $r$  и  $\theta$ , что возможно, если каждая его часть равна постоянной, например,  $p$ .

$$\frac{1}{\varphi_2} \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial \theta^2} = -p^2, \quad (6)$$

$$\frac{r}{\varphi_1} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \varphi_1}{\partial r} \right) = p^2. \quad (7)$$

Интервал уравнения (6) состоит из тригонометрических функций

$$\varphi_2 = A_1 \cos p\theta + A_2 \sin p\theta. \quad (8)$$

Из симметрии поля относительно оси x-x следует

$$\varphi_2(\theta) = \varphi_2(-\theta),$$

и поэтому условию удовлетворяет четная функция  $\cos p\theta$ , а член  $\sin p\theta$  должен отсутствовать. Следовательно, постоянная  $A_2 = 0$ . Из симметрии поля относительно плоскости YY вытекает, что эта плоскость является эквипотенциальной. Принимаем потенциал равный нулю. Зависимость значения потенциала от угла  $\theta$  не может содержать функций кратных углов  $p\theta$ , что требует условия  $p = 1$ . Таким образом,

$$\varphi_2 = A_1 \cos \theta, \quad (9)$$

где  $A_1$  – постоянная.

Для интегрирования уравнения при  $p = 1$  введем новую переменную  $\eta = \ln r$ , тогда

$$\frac{\partial \eta}{\partial r} = \frac{1}{r}; \quad \frac{\partial \varphi_1}{\partial \eta} = \frac{\partial \varphi_1}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial r} = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_1}{\partial \eta} \text{ и т.д.} \quad (10)$$

Уравнение (7) приводим к виду

$$\frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial \eta^2} = \varphi_1. \quad (11)$$

Интеграл этого уравнения определяется

$$\varphi_1 = C_1 e^\eta + C_2 e^{-\eta} = C_1 r + \frac{C_2}{r}. \quad (12)$$

Подставив выражения (9) и (12) в (4) и заменив постоянные  $A_1 C_1 = K_1$  и  $A_1 C_2 = K_2$ , получим искомый интеграл уравнения Лапласа

$$\varphi = \left( K_1 r + \frac{K_2}{r} \right) \cos \theta. \quad (13)$$

Напряженность ЭМП находим как градиент потенциала, взятый с обратным знаком

$$H = -\nabla \varphi = -\frac{\partial \varphi}{\partial r} - \frac{\partial \varphi}{r \partial \theta} = -\left( K_1 - \frac{K_2}{r^2} \right) \cos \theta + \left( K_1 - \frac{K_2}{r^2} \right) \sin \theta. \quad (14)$$

Определяем постоянные  $K_1$  и  $K_2$ .

Влияние детали на внешнее поле не достаточно сказывается на очень большом расстоянии от детали. Следовательно, при  $r \rightarrow 0$  и  $\theta = 0$ .

Поверхность заготовки  $r = r_0$  эквипотенциальна, причем ее потенциал совпадает с потенциалом точек плоскости YY, принятым равным 0.

Из уравнения (13) видно, что условие  $\varphi = 0$  при  $r = r_0$  при любом  $\theta$  требует равенства

$$K_2 = -K_1 r_0^2 = -H_0 r_0^2. \quad (15)$$

После подстановки найденных постоянных  $K_1$  и  $K_2$  в (13) и (14), получаем окончательное выражение напряженности ЭМП

$$H = H_0 \left\{ - \left( 1 + \frac{r_0^2}{r^2} \right) \cos \theta + \left( 1 - \frac{r_0^2}{r^2} \right) \sin \theta \right\}. \quad (16)$$

Напряженность на поверхности детали ( $r = r_0$ ) равна

$$H = -2H_0 \cos \theta.$$

Поскольку, согласно приведенного расачета напряженности  $H$  на обрабатываемой конической поверхности, ее наибольшее значение при  $\theta = 0$  или  $\theta = \pi$  будет равно  $H = -2H_0$ , то основными условиями эффективности МАО конических деталей сельскохозяйственных машин служат кинематические и динамические показатели процесса.

В результате проведенных исследований установлены аналитические зависимости для определения величины напряженности ЭМП на обрабатываемой поверхности пуансона, что обеспечивает определение динамики процесса и степень силового воздействия на обрабатываемые детали.

#### **Abstract**

*In work researches of topography of a magnetic field are given in a working gap at magnetic and abrasive processing of conic surfaces of details of agricultural cars.*

УДК 679.18:536.7-531.3.07

### **ОЦЕНКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАЛИ ЭВТЕКТОИДНОГО СОСТАВА**

**А.И. Сидашенко, к.т.н., профессор, В.М. Власовец, д.т.н., профессор,  
В.Н. Заец, аспирант**

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
имени Петра Василенко, Харьков, Украина*

*Выполнена оценка неметаллических включений в стали 75 и их влияния на коэрцитивную силу.*

#### **Введение**

В Украине широко используется технология помола сырья в барабанных шаровых мельницах. Для барабанных мельниц характерна сложность переоснастки (затрудненный пуск, повышенный износ редуктора) и при сильном износе шаров, их раскалывании и фрагментации необходимо пре-