

П.И. Ящерицын, А.П. Ракомсин,
Л.Е. Сергеев, М.И. Сидоренко, А.М. Миронов

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОСЦИЛЛЯЦИИ

*Физико-технический институт НАНБ,
Республиканское унитарное предприятие «МАЗ»,
Белорусский государственный аграрный технический университет.
Минск, Беларусь*

Известно, что при финишной обработке детали ее максимальные производительность и качество процесса достигаются среди прочих факторов также путем обеспечения равномерности давления инструмента P на поверхность изделия. Если при суперфинишировании и хонинговании минимизация отклонения этого давления осуществляется пригонкой рабочей поверхности инструмента по отношению к обрабатываемому профилю детали, то при магнитно-абразивной обработке (МАО) данный показатель определяется уже природой магнитного поля, рис. 1. Неравномерность давления инструмента P в виде блока — полюсный наконечник, магнитное поле и ферроабразивный порошок (ФАП) вызывается схождением линий так называемой «нулевой» работы [1] «ферроабразивной щетки». Таким образом, если при суперфинишировании и хонинговании разница давлений P может быть обнаружена на любом участке рабочей поверхности абразивного бруска, то при МАО, как указывалось выше, падение значений этого давления находится в центре «ферроабразивной щетки». Следовательно, главным становится вопрос: существует ли закономерность в распределении давления на всей площади рабочей зоны при МАО или это распределение носит такой же случайный характер как при указанных выше финишных операциях. Кроме того, станет ясно, есть ли, например, необходимость усложнения кинематики процесса, заключающегося в введении дополнительных движений, что непременно скажется на особенностях конструкции электромагнитной системы (ЭМС).

Наиболее оптимальной конфигурацией границ, исследуемой аналитически, является прямоугольник, две противолежащие стороны которого должны быть эквипотенциалами, а две остальные имеют конечную магнитную проницаемость. Решение для определения влияния магнитного потока Φ на процесс съема материала при МАО предлагается произвести путем установления картины магнитного поля во внутренней области рабочей зоны полюс-

ного наконечника, обладающего именно этой конфигурацией. Основным условием, принимаемым в расчет, служит равномерность распределения тока I по поперечному сечению наконечника. В пределах таких областей определение магнитного поля описывается при помощи векторного потенциала. Значение составляющей z векторного потенциала A в любой точке внутри области, где протекает ток, удовлетворяет уравнению Лапласа.

$$\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} = 0$$

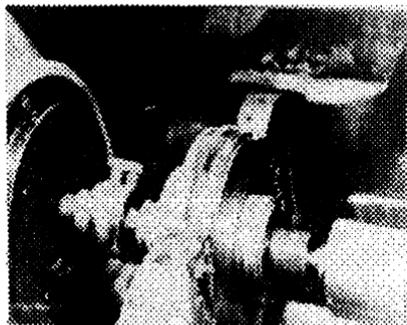


Рис.1. Электромагнитная система

Поле распределенного тока устанавливается путем наложения полей бесконечно большого числа элементарных линейных токов, в совокупности составляющих этот распределенный ток. На основании вышеизложенного распределение векторного потенциала определяется разложением в ряд.

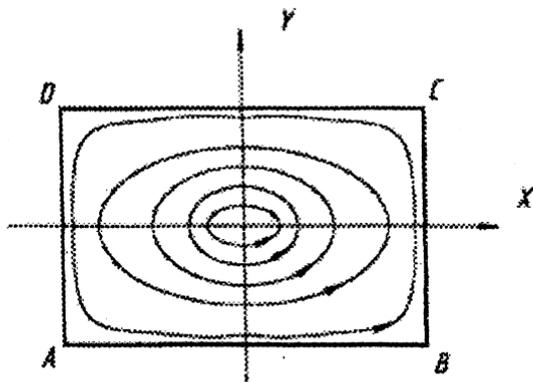


Рис. 2. Поле внутри полюсного наконечника

В данном случае требуется установить поле внутри полюсного наконечника с большой магнитной проницаемостью. Картина магнитного поля представлена на рис.2. Определение поля сводится, как указывалось выше, к нахождению векторной потенциальной функции A , которая удовлетворяет уравнению Лапласа и имеет постоянное значение на границе прямоугольника.

$$B_z = \frac{\partial A}{\partial y} = 0 \quad B_y = -\frac{\partial A}{\partial x} = 0$$

При этом решении применяется метод формирования соответствующего однородного уравнения и частного решения неоднородного. В данном случае однородное уравнение представляет собой уравнение Лапласа и в совокупности с неоднородным имеет общее решение [1].

$$A = -\frac{1}{2} \mu \mu_0 J (x^2 + \sum_{m=1}^{\infty} d_m \cos mx \operatorname{ch} my),$$

где μ — относительная магнитная проницаемость; μ_0 — магнитная постоянная, Гн*м⁻¹; J — плотность тока, А*м²; m и d_m — постоянные, определяемые по граничным условиям, а именно:

$$m = \frac{\pi n}{2a}, \quad d_m = \frac{(-1)^k * 32a^2}{(2k+1)^3 \pi^3 \operatorname{ch}(2k+1) \frac{\pi b}{2a}}; \quad n — \text{любое число}$$

Полное решение с учетом всех значений выглядит следующим образом:

$$A = -\frac{1}{2} \mu \mu_0 J \left[x^2 + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k 32a^2 \operatorname{ch} \frac{(2k+1)\pi y}{2a} \cos \frac{(2k+1)\pi x}{2a}}{(2k+1)^3 \pi^3 \operatorname{ch} \frac{(2k+1)\pi b}{2a}} \right]$$

Присутствие члена $(2k+1)$ обеспечивает быструю сходимость ряда. Выражение для B_x и B_y определяются через соответствующие производные A_n и представлены зависимостями (1, 2).

$$B_x = \frac{\partial A}{\partial y} = -\frac{1}{2} \mu \mu_0 J \left[\sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k 16a \operatorname{sh} \frac{(2k+1)\pi y}{2a} \cos \frac{(2k+1)\pi x}{2a}}{(2k+1)^2 \pi^2 \operatorname{ch} \frac{(2k+1)\pi b}{2a}} \right] \quad (1)$$

$$B_y = \frac{\partial A}{\partial x} = \frac{1}{2} \mu_0 J \left[2x - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k 16ach \frac{(2k+1)\pi y}{2a} \sin \frac{(2k+1)\pi x}{2a}}{(2k+1)^2 \pi^2 ch \frac{(2k+1)\pi b}{2a}} \right] \quad (2)$$

Наличие члена $(2k+1)^2$ также приводит к удобству расчетов и сходимости ряда, поскольку три или четыре члена дают точность, значительно превышающую 1 %. Анализ уравнений 1 и 2 показывает, что в центре проводника прямоугольного сечения находится нейтральная зона, вокруг которой замыкается магнитный поток и происходит схождение линии нулевой работы.

Следовательно, если существует данная зона, то необходимо устранить негативные последствия ее присутствия в области обработки. Достижение такого результата производится путем введения дополнительного движения аналогично хонингованию-осцилляции. Практика показывает, что наиболее приемлемыми геометрическими размерами рабочей зоны при данной схеме MAO для производительного протекания процесса являются следующие показатели: длина — 60–80 мм, высота — 40–60 мм.

Увеличение выше указанных габаритов этой зоны связано с рекомендациями по созданию концентраторов магнитного потока [2, 3]. Однако вопрос об их форме и расположению по-прежнему остается открытым. Поэтому, исходя из традиционных значений размеров рабочей зоны, возникает еще один вопрос: если можно изменить размеры рабочей зоны при отсутствии концентраторов магнитного поля (МП), то каково в таком случае должно быть изменение основных параметров процесса MAO для расширения его технологических возможностей. Поэтому рассмотрим влияние таких параметров, как скорость и амплитуда осцилляции, которые связаны следующей формулой [3]:

$$V_0 = 4Af,$$

где A — амплитуда осцилляции, м; f — частота колебаний, c^{-1} .

Ответ на данный вопрос имеет важное практическое значение, поскольку соотносится с производительностью и качеством обработки. Установлено, что требуемый диапазон показателей скорости осцилляции составляет 0,15–0,25 м/с, что обеспечивает необходимые выходные показатели процесса MAO. Аналогично методам хонингования и суперфиниширования при MAO имеется так называемый «угол атаки» инструмента. И если «угол атаки» при MAO увеличивается, это приводит к падению массового и размерного съема материала, а, в конечном счете, и снижению качества. Причина заключается в замене процесса резания процессом деформирования, однако

требуемое давление во втором случае является недостаточным и необходимый микрорельеф поверхностного слоя не обеспечивается. Другим важным фактором, как указывалось ранее, служит распределение магнитного потока Φ по всей площади рабочей зоны ферроабразивной «щетки», что определяет ее давление P ($P \sim B$) на обрабатываемую поверхность детали. Исходя из этого, можно с некоторыми допущениями рекомендовать каким образом осуществлять процесс обработки при изменении габаритных размеров рабочей зоны. Для получения одинаковой величины массового съема материала в двух различных рабочих зонах 1 и 2, рис.3, необходимо выполнить условие: $P_1 = P_2$ (или $B_1 = B_2$) и $V_{01} = V_{02}$, где P_1 и P_2 — давление инструмента в рабочих зонах 1 и 2 на обрабатываемую поверхность детали, обусловленное показателями магнитной индукции B_1 и B_2 ввиду увеличения размеров рабочей зоны 2 по сравнению с 1; V_{01} и V_{02} — соответствующие P_1 и P_2 скорости осцилляции, обусловленные показателями амплитуды осцилляции A_1 и A_2 .

Однако если рассуживать сечение I-I, II-II и т.д., зон 1 и 2 видно, что данное условие не может быть выполнено ввиду $P_1^I > P_2^{II}$, $P_1^{II} > P_2^I$ и т.д. Это объясняется тем, что магнитный поток Φ является величиной постоянной

$$\Phi = BS = \text{const},$$

где S — площадь магнитопровода, м^2 .

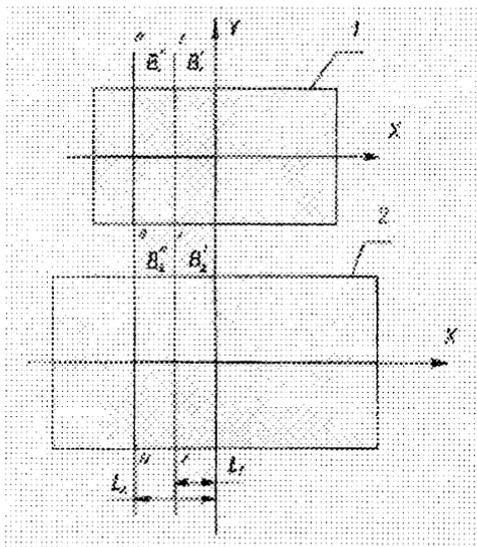


Рис.3. Рабочие зоны

Таким образом, увеличение площади рабочей зоны 2 приводит к снижению величины магнитной индукции B , являющейся плотностью магнитного потока Φ .

Вместе с тем, скорости осцилляции V_0 в сечениях I-I, II-II и т.д. равны ввиду равенства амплитуд, т.е. $V_{01}^I = V_{02}^I, V_{01}^{II} = V_{02}^{II}$. Следовательно, имеется следующий вариант: во всех сечениях рабочих зон 1 и 2 — $P_1 > P_2$ и $V_{01} = V_{02}$, исключая границы раздела сред (сталь-воздух) и образование краевых условий. Если принять, что величина магнитной индукции в сечении II-II-В^{II} (P_{11}^{II}) рабочей зоны 1 равна B_{12}^I рабочей зоны 2 в сечении I-I, но тогда $V_{01}^{II} > V_{02}^I$ ввиду $l_2 > l_1$. Т.е., обратно не достигается выполнение условия: $P_1 = P_2$ и $V_{01} = V_{02}$. Поскольку изменение величин B_1 и B_2 связаны с физическими явлениями магнитного поля, а в таком случае достижение требуемых производительности и качества процесса MAO сопряжено с целым рядом трудностей, то более приемлемым может быть вариант изменения скоростей осцилляции для достижения этого условия. Данное достижение осуществляется путем уменьшения амплитуды осцилляции A_2 рабочей зоны 2 и таким образом принимается, что $l_2 \cdot A_1 = K A_2$, где K -коэффициент, учитывающий увеличение габаритных размеров рабочей зоны 2, Единственным различием в этом случае будет только то, что режущее зерно в рабочей зоне 2 совершит меньший путь резания, чем аналогичное в зоне 1. Однако практика показывает, что ввиду их большого количества эта разница абсолютно не играет той роли, как при лезвийной обработке. Положительным же фактором в этом случае служит снижение показателей шероховатости поверхностного слоя в отличие от варианта, когда амплитуда осцилляции остается величиной постоянной.

Проведенные исследования показали, что процесс обработки в рабочих зонах, отличающихся одна от другой в 1,4 раза по оси X (50 и 70 мм соответственно) при изменении амплитуды осцилляции A в 2,5 раза (2,5 и 1 мм) обеспечивает равные показатели шероховатости деталей ($R_{a1} = 0,8$ и $R_{a2} = 0,1$ мкм, где R_{a1} и R_{a2} — показатели шероховатости до и после обработки). При сохранении одинаковых величин амплитуды в первом варианте этот показатель выше, чем во втором — в среднем в 1,5 раза — $R_{a2} = 0,15$ мкм.

В качестве оборудования применялся станок СФ2.150.00.00.000 [4]. Образцами служили кольца подшипников $D \times d \times l = 36 \times 29 \times 32$ мм, сталь ШХ-15, ГОСТ 801 -79, 58...62 HRC₃. Величина магнитной индукции, $B = 1$ Тл; скорость резания, $V_p = 1,5$ м/с; ФАП-Ж 15КТ ТУ6-09-03-483-81, размер зерна, $A = 160/220$ мкм; коэффициент заполнения рабочего зазора, $K_z = 1$; величина рабочего зазора, $I = 1$ мм; смазочно-охлаждающие технологические средства — СинМА-1 ТУ 38.5901176-91, 2 % водный раствор.

Вывод. На основании нахождения векторной потенциальной функции при учете уравнения Лапласа представлено распределение магнитного поля внутри полюсного наконечника, характеризующее рабочую зону инструмента при МАО, что обеспечивает ее правильное конструирование, расчет режимов обработки и приводит к достижению требуемых производительности и качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бинс К., Лауренсен П. Анализ и расчет электрических и магнитных полей. — М.: Энергия, 1970. — 215с.
2. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущего инструмента. — Л.: Машиностроение, 1986. — 182с.
3. Kodacsy Jonas. Magnetoabrasives Polieren und Entgraten Witerenwikelte Feinbearbeitung // Techn. Rdsch. 1990. — V.82, № 37. — S. 76–79.
4. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. — Минск: Наука и техника, 1981. — 283с.
5. Скворчевский Н.Я., Федорович Э.Н., Ящерицын П.И. Эффективность магнитно-абразивной обработки. — Минск: Навука і тэхніка, 1991. — 192с.

УДК 621.923

П.И. Ящерицын, А.П. Ракомсин,
Л.Е. Сергеев, М.И. Сидоренко, А.М. Миронов

МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ФОРМЫ С ВЫСОКИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ СВЕТООТРАЖЕНИЯ

*Физико-технический институт НАН Беларуси,
Республиканское унитарное предприятие «МАЗ»,
Белорусский государственный аграрный технический университет
Минск, Беларусь*

Финишная обработка деталей оптического назначения заключается в необходимости достижения высокого показателя коэффициента светоотражательной способности и низкого — шероховатости поверхности. Процесс этого достижения определяется отсутствием шаржирования данной поверхности и увеличением радиусов ее вершин и впадин, что обеспечивает соблю-