

Процентное содержание кислорода, влияющее на химические процессы при оплавлении, является и главным фактором, определяющим пористость.

Таким образом, только плазменный метод для исследованных композиций является эффективным при нанесении покрытий. Для повышения качества напыления и обеспечения возможности применения газопламенного метода необходимо повысить самофлюсующиеся свойства порошков, уменьшить и сделать более однородной их грануляцию.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

П.И. Ящерицын; А.П. Ракомсин; Л.Е. Сергеев;

М.И. Сидоренко; А. М. Миронов

ФТИ НАН Беларуси, РУП «МАЗ», УО «БГАТУ»

(г. Минск, Республика Беларусь)

Parameters optimization of a working area at magnetic abrasive handling lengthy details

Ground installed dependence between geometrical parameters of a working area EMS distribution and a direction of vectors of a magnetic induction that ensures correct constructing the shape of polar tips and efficiency of process of cutting of a material is detected.

Введение. Электромагнитная система (ЭМС) в процессе магнитно-абразивной обработки (МАО) [1 – 3] играет роль рабочего органа, функция которого состоит в создании требуемого давления инструмента на обрабатываемую поверхность детали. Поэтому основным критерием эффективности протекания данного процесса является возможность достижения максимального значения магнитной индукции B при минимальных габаритах ЭМС, что приводит к росту производительности и качества обработки. Необходимым элементом ЭМС служат полюсные наконечники, представляющие собой продолжение этой системы. Основная задача заключается в получении наибольших значений магнитной индукции без

реализации достижения критической величины насыщения сердечника. При этом достижении прохождение магнитного потока по цепи ЭМС не осуществляется. А поскольку традиционные методы механической обработки деталей машин, в частности, длинномерных изделий не всегда позволяют получить требуемое качество поверхности, то возникает необходимость применения новых способов формообразования. Вместе с тем и эти способы должны в полной мере дать представление об особенностях процесса и его сущности для обеспечения выходных показателей производительности и качества выпускаемой продукции.

Постановка задачи исследования. Как известно, ЭМС снабжаются сменными полюсными наконечниками. Поэтому всякий раз им требуется придать форму рабочей поверхности, обеспечивающую наиболее благоприятное распределение магнитного потока. Таким образом, цель заключается в создании наиболее оптимальной зоны обработки в зависимости от конфигурации изделия, что приводит к росту технико-экономических показателей процесса МАО и, соответственно, его конкурентоспособности. Изменение формы поверхности является важным элементом в уравнении связи граничных условий сопряжения нелинейных и анизотропных сред, какими служат наконечник, ферроабразивный порошок (ФАП) и обрабатываемая деталь. Производительное протекание процесса МАО определяется неизменностью этих граничных условий в области рабочей зоны. В противном случае происходит нарушение условия непрерывности, что приводит к резкому повышению потерь или утечке магнитного потока. Следовательно, исходя из постоянства свойств ФАП и детали, обеспечение роста производительности процесса МАО может быть осуществлено конструктивным изменением формы рабочей зоны, в частности, полюсных наконечников. Проектирование формы должно быть таким, чтобы их геометрия гарантировала ориентацию линий магнитной индукции, замыкающихся требуемым образом. В данном случае требуется посредством изображения магнитного поля (МП) получить наглядное представление о данном поле. Известно, что по выражению векторов поля, окружающего какое-либо тело, можно определить величину и направление силы, действующей на это тело [4]. Однако при расчете необходимо произвести допущения, упрощающие его, но позволяющие точно оценить влияние основных параметров на оптимизацию конструкции. Таким образом, путем аналитического

расчета необходимо установить распределение магнитной индукции в рабочей зоне для того, чтобы получить полное представление коммутации магнитного потока. Данная коммутация позволяет правильно оценить возможности процесса МАО.

Методы исследования и используемое оборудование. В качестве оборудования применялся станок модели СФТ 2.125.00.00.000 производства ФТИ НАН Беларуси [1]. Обработываемый материал – прутки $d = 19,8$ мм, сталь 40 ХН, ГОСТ 7417-75. Параметры и режимы процесса МАО: величина магнитной индукции, $B = 1$ Тл; скорость вращения полюсных наконечников, $V_{вр} = 6$ м/с; скорость протягивания прутков, $V_{пр} = 2,9$ м/мин; сила тока, подаваемого на электромагнитные катушки, $I = 5$ А. ФАП – Ж15КТ ТУ 6-09-03-483-81, размер зерна, $\Delta = 160/200$ мкм, смазочно-охлаждающие технологические средства – СинМА-1 ТУ38.5901 176-91, 5-процентный водный раствор. Шероховатость поверхности прутка до обработки составляла $R_{a1} = 0,8-1$ мкм. Измерение шероховатости производилось на профилографе-профиметре мод 252 «Калибр».

Проведение эксперимента и его обсуждение. На рисунке 1 представлена конструкция полюсных наконечников, предназначенных для протекания процесса МАО длинномерных изделий.

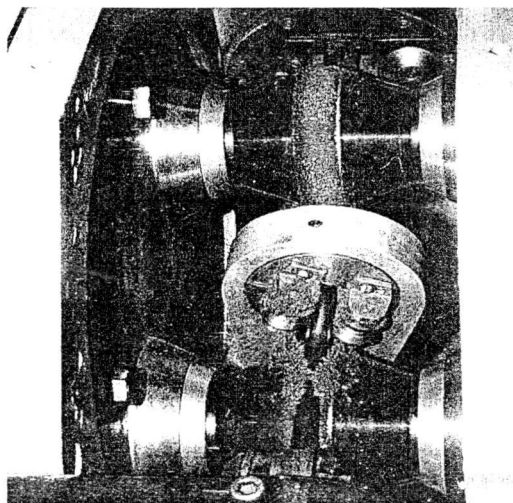


Рис. 1. Рабочая зона электромагнитной системы при МАО длинномерных изделий

Основная проблема поставленной задачи заключалась в установлении величины конусообразности данных наконечников по отношению к рабочей зоне на базе определения векторного потенциала МП. Для определения этого потенциала в любой точке (x, y, z) необходимо, чтобы $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$ (рис. 2), тогда

$$\sin \theta = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{r}.$$

Известно, что существует модельное условие для определения МП, заключающееся в выполнении следующего правила: отрезок проводника с током должен быть значительно меньше расстояния от него до рассматриваемой точки, в которой устанавливается вектор индукции МП. Поэтому в качестве базы взято именно это условие, поскольку во многом отвечает принципу построения полюсного наконечника, обладающего формой усеченного конуса, и площадь большего диаметра которого является рабочей зоной ЭМС.

Тогда векторный потенциал в указанной выше точке согласно закону Био – Савара – Лапласа (рис. 2) равен

$$A = \frac{\mu_0 IS \sin \theta}{r^2}, \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн·м⁻¹;

I – сила тока, А.

В данном уравнении векторный потенциал контура с током любой формы на расстоянии r и нормаль к плоскости контура имеет модуль, представленный следующим образом:

$$A = \frac{\mu_0 IS \sqrt{x^2 + y^2}}{r^3}. \quad (2)$$

Можно получить бесконечно много поверхностей, ограниченных указанным контуром, с площадью S . Для физики процесса электромагнетизма абсолютно не важен выбор поверхности, поскольку $\int \mathbf{B} d\mathbf{S}$ будет всегда равен одной и той же численной величине. Это связано с тем, что выражение $\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$, а это, в свою очередь, предполагает и пространственное сохранение потока. В нашем конкретном случае речь идет только о такой ориентации поверхности контура. Самое главное в этом положении является то, что особенности формы контура, согласно теории электромагнетизма, практически не сказываются на форме, реализующей образование МП на большем диаметре конуса полюсного наконечника.

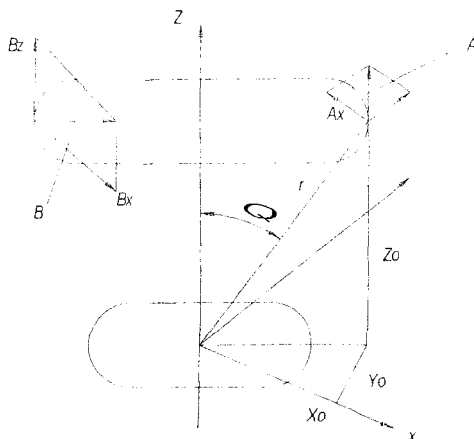


Рис. 2. Схема определения направления векторов магнитной индукции для МАО длинномерных изделий:

A – векторный потенциал, Тл*м; A_x, A_y – компоненты векторного потенциала; B – магнитная индукция, Тл; B_z, B_x – компоненты вектора магнитной индукции; Z_0 – расстояние между площадками первого и второго контуров магнитного поля по оси Z , м; r – расстояние между центром первого контура до периферии второго, м; x_0, y_0 – расстояние от центра первого контура до периферии второго соответственно по осям x и y , м; θ – угол между r и осью Z ; S – площадь первого контура, м²

Поэтому, определяя оптимальный способ изготовления полюсного наконечника и имея ряд технологических операций механической обработки, можно выбрать метод точения. Данный метод характеризуется низкой себестоимостью и высокой производительностью в сравнении с другими методами получения конусных деталей. С целью снятия остаточных напряжений поверхностного слоя, приводящих к структурным изменениям, негативно влияющим на магнитные свойства стали, полюсный наконечник необходимо подвергнуть термической обработке.

Таким образом, определившись со способом изготовления полюсного наконечника, требуется установить его геометрические параметры и произвести оценку, исходя из утверждения С. Тикадзуми [5]. Оно заключается в том, что наилучшими показателями обладает конструкция полюсного наконечника, имеющая форму усеченного конуса с углом при вершине, равным 60° . Кроме того,

выявление данного направления векторов магнитной индукции приводит к точности оценки воздействия ферромагнитной щетки на обрабатываемую поверхность изделия. Знание распределения плотности магнитного потока в рабочей зоне между полюсными наконечниками гарантирует применительно к конкретной детали.

Так как вектор A совпадает с касательной к горизонтальной окружности вокруг оси z , то его компоненты согласно формуле 1 равны:

$$\begin{aligned} A_x &= A \left(\frac{-z}{x^2 + y^2} \right) = -\frac{\mu_0 ISy}{r^3}; \\ A_y &= A \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) = \frac{\mu_0 ISx}{r^3}; \\ A_z &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Произведя вычисление B для точки в плоскости xz и определяя компоненты $\text{rot } A$, находим их при условии $y = 0$:

$$\begin{aligned} B_x &= (\nabla \times A)_x = \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} = \frac{\mu_0 3ISxz}{r^5}; \\ B_y &= (\nabla \times A)_y = \frac{\partial A_z}{\partial z} - \frac{\partial A_x}{\partial x} = \frac{\mu_0 3ISxz}{r^5}; \\ B_z &= (\nabla \times A)_z = \frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} = \frac{\mu_0 3IS(3z^2 - x^2)}{r^5}. \end{aligned} \quad (4)$$

В плоскости xz $y = 0$.

Следовательно, компоненты поля в любой точке этой плоскости равны

$$\begin{aligned} B_x &= \frac{\mu_0 IS \sin \theta \cos \theta}{r^3}; \\ B_y &= 0; \end{aligned} \quad (5)$$

$$B_z = \frac{\mu_0 IS(3 \cos^2 \theta - 1)}{r^3}.$$

Таким образом, производя оценку эффективности использования полюсных наконечников, необходимо отметить, что главным достоинством увеличивающегося по отношению к рабочей зоне конуса полюсного наконечника служит стремление магнитного потока как системы не изменить свое состояние и сохранить его по мере продвижения вдоль оси z . Однако увеличение размеров контура, образующего площадь большего диаметра конуса, приводит, если рассматривать движение магнитного потока из начала координат, к тому, что компоненты этого поля уменьшаются. Вместе с тем при-

менение такой конструкции полюсных наконечников обеспечивает при МАО длинномерных изделий компактность рабочей зоны и возможность ее интенсификации. Следует обратить внимание на то, что компоненты векторов магнитной индукции направлены внутрь рабочей зоны. Это приводит к росту удержания ФАП в зоне обработки, повышению давления ферроабразивной щетки на поверхность детали и, соответственно, росту съема материала. Таким образом, основная задача состоит в необходимости оптимизации профиля полюсного наконечника. Осуществляя этот процесс, следует указать, что создание полюсного наконечника, имеющего форму, обратную рассматриваемой выше, т.е. сужение конуса к рабочей зоне, приводит к иному распределению векторов индукции МП. Это распределение не обладает требуемым направлением данных векторов и может быть использовано для других схем МАО. Также необходимо отметить, что конусообразность наконечников не обязательно должна иметь угол, равный 60° , как указывалось ранее [5].

Зависимость создания наконечника имеет более сложный характер, поскольку важным фактором, влияющим на эффективность обработки методом МАО, служит не только угол указанного выше конуса наконечника, но и его геометрические размеры. На основании вышеизложенного, можно отметить, что применение формулы (5) позволяет установить значения магнитного поля B и обеспечить повышение производительности и качества выпускаемой продукции после МАО путем создания оптимальной формы полюсных наконечников.

Вывод. На основании установленной зависимости между геометрическими параметрами рабочей зоны ЭМС выявлено распределение и направление векторов магнитной индукции, что обеспечивает правильное конструирование формы полюсных наконечников и эффективность процесса съема материала для получения требуемых выходных показателей. Проведенные исследования показали, что шероховатость поверхности прутков, подвергасмой магнитно-абразивной обработке, составила $R_{a2} = 0,1 - 0,3$ мкм. Размерный съем обрабатываемой поверхности достигает $5 - 12$ мкм. При получении данной величины размерного съема происходит образование собственного микрорельефа, отличающегося отсутствием глубоких и острых впадин и дефектов. Кроме того, после МАО на поверхности прутков резко уменьшилось содержание продуктов коррозии и термического разложения веществ, масляных пленок и механических частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скворчевский Н.Я., Федорович Э.Н., Ящерицын П.И. Эффективность магнитно-абразивной обработки.-Мн.: Наука і тэхніка, 1991.
2. Yamaguchi Hitomi, Sbrinmura Takeo, Kanuko Takehiro. Development, of a now internal finishing process applying magnetic abrasive finishing by use of pole rotation system // Bull. Jap. Soc. Precis. End. V. 3. № 4. 1996.
3. Скворчевский Н.Я. Научные основы повышения эффективности магнитно-абразивной обработки созданием сверхсильных магнитных полей и новых технологических сред // Автореф. ...д-ра техн. наук.- Мн.: БГПА, 1994.
4. Поливанов К. М. Теоретические основы электротехники.-М.: Энергия, 1975.
5. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. – М.: Мир, 1983.

СПОСОБ И ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

С.А. Стукин, инженер

УО «БГАТУ»

(г. Минск, Республика Беларусь)

Для улучшения процесса наплавки в последние годы все большее применение находит электродуговая наплавка в ультразвуковом поле [1, 2]. Преимущество ее перед обычной электродуговой наплавкой состоит в том, что в результате ультразвуковой обработки расплава электродуговой ванны существенно улучшаются эксплуатационные свойства наплавленного металла [3].

Несмотря на положительное влияние ультразвуковой обработки во многих случаях возникают трудности в достижении стабильности процесса. Причина этого кроется в неравномерности ввода ультразвука в наплавляемый металл, которая связана с нарушением акустического контакта между волноводной присадочной проволокой и расплавленным металлом, а также выходом ультразвуковой колебательной системы и резонансного режима работы за счет отклонения длины вылета волноводной проволоки от резонансной. Решению этой задачи посвящена настоящая работа.