

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

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

Известно, что технология финишной обработки деталей сферической формы, в частности доводки, основана на контактном взаимодействии инструмента и детали путем их обоюдного изнашивания. Кинематика процесса заключается в одновременном вращении ведущего звена в виде детали и упруго прижимаемого к нему через шаровой шарнир ведомого звена или притира. При этом ось притира проходит через ось вращения детали и наклонена к оси образуемой сферы под определенным углом [1]. Для данного процесса характерна сложность взаимного влияния основных технологических факторов, которые поддаются только косвенному управлению.

Общим недостатком обработки деталей сферической формы, в частности шариков является отсутствие гарантированного трехосного вращения деталей, что не позволяет получить высокий процент выхода годной продукции [2]. Другие проблемы заключаются в непостоянстве скорости свободного вращения инструмента, высоком градиенте вектора скорости резания и неравномерности контактного давления между инструментом и деталью ввиду наличия так называемых петель и точек возврата траектории движения [3]. Результатом этого воздействия служит отсутствие одинаковой толщины снимаемого припуска, что приводит к снижению качества и точности.

Одним из перспективных методов финишной обработки деталей сферической формы является магнитно-абразивная обработка (МАО) [4 - 8]. Изменение величины и направления магнитного потока в зоне обработки создает магнитное поле, изменяющее положение оси вращения шарика и сообщающее ферроабразивному инструменту планетарное движение вокруг изделия. Это обеспечивает равномерность съема металла и точность геометрической формы обрабатываемой детали. Трудности расчета электромагнитного поля в любом электротехническом устройстве определяются формой поверхности, которая разделяет среды с различными физико-механическими характеристиками в области его существования. Эти трудности возрастают при необходимости учета нелинейности сред, зависящей от величин характеризующих электромагнитное поле типа магнитной проницаемости среды и напряженности

поля. При МАО следует прибавить еще и перемещение сред, т. е. инструмента и шарика. Поэтому необходимым является представление расчетов исследований электромагнитного поля в аналитической форме. Известно, что существует определенная особенность расчета, связанная с физическим моделированием поля и заключающаяся в реализации условия допущений [9]. Примером тому служит то, что током смещения внутри проводников можно пренебречь в отличие от тока проводимости. Целесообразность выбора системы координат, поскольку дифференциальные уравнения для векторных величин H и B зависят так же и от времени, определяется характером задачи. Это связано с минимизацией средств и затрат для решения крайне сложных краевых задач. Другой проблемой при выборе детерминанта служит выявление знака при рассмотрении приращения или уменьшения функции на элементарных площадках. Однако необходимость получения представления о протекании процесса МАО сферических поверхностей требует установления метода исследования и модели, в которой полностью или в основном явления имеют одинаковую с оригиналом физическую природу. Это существенно облегчает получение необходимых результатов ввиду выбора наиболее приемлемых диапазонов изменения физических величин и геометрических размеров обрабатываемых деталей.

В качестве оборудования применялся станок АА 15.002 производства ФТИ НАН Беларуси. Образцы – шарики $d = 2 - 10$ мм, материал ШХ-15 ГОСТ 801-78. Магнитная индукция на катушках соленоидов электромагнитной системы (ЭМС) – $B = 1,2$ Тл. Частота вращения ведущего притира, $n = 200$ об/мин. Усилие прижима – 1600 Н. Время обработки $t = 30$ мин. Расход пасты – примерно 0,15 кг. Диаметр притира – 300 мм. Радиальное биение нижнего притира – 0,1 мм, его торцевое биение – 0,05 мм. Для размагничивания шариков и притиров использовался демагнетизатор, который может быть включен в общую цепь станка АА 15.002 или работать отдельно от цепи переменного тока. Реле времени позволяет установить время обработки от 0 до 60 мин. По истечении установленного показателя времени происходит автоматическое отключение цепей электродвигателя и катушек ЭМС. Контроль шариков производится двумя способами: приблизительным и непосредственным. Приблизительный осуществляется путем применения индикатора, непосредственный – изъятием партии шариков из рабочей зоны и их измерением калибрами – скобами исполнения 2, номер 8118-0001 для шариков до 5 мм и 8118-0002 для шариков от 5 до 10 мм, по ГОСТ 2216-84. Губки были изготовлены из твердого сплава ВК 6 по ГОСТ 3882-74.

Моделью для физического моделирования является сфера, вращающаяся с частотой n и находящаяся в магнитном поле обусловленном наличием тока, равным 2 А. Более низкие численные значения тока в сравнении с наружной МАО (4–5 А) связаны с тем, что применение традиционных значений приводит к быстрому тепловому нагреву катушек соленоидов из-за высокой продолжительности МАО шариков (до 30 мин). Главная задача заключается в определении напряженности магнитного поля на

оси вращения вне шариков, считая известным поле на оси кругового витка, путем ее непосредственного интегрирования.

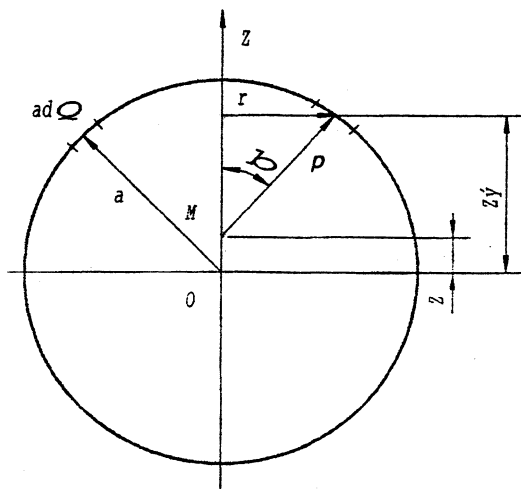


Рис. 1 Схема для определения напряженности магнитного поля при использовании МАО
 Z – расстояние от центра шара до точки определения напряженности МП, м;
 a – радиус шара, м; β – угол между осью Z в точке определения напряженности МП и r
 Напряженность магнитного поля на оси вращения в точке M (рис.1), обусловленная током dI , равняется

$$dH = dH_z = dI \frac{\sin^3 \beta}{2r}$$

Согласно рис. 1 следуют соотношения

$$\sin \beta = \frac{r}{\rho}; r^2 = a^2 - z^2; \rho^2 = z^2 + a^2 - 2z_z z$$

Поэтому $d\theta = -\frac{dz_z}{z}$ и $z dz_z = -\rho d\rho$,

$$r^2 = \frac{-\rho^4 + 2\rho^2(z^2 + a^2) - (a^2 - z^2)^2}{4z^2}$$

Подставляя эти значения в выражения для dH , получаем

$$dH = -\frac{I}{16az^3} * \frac{\rho^4 + 2\rho^2(z^2 + a^2) - (a^2 - z^2)^2}{\rho^2} dS$$

Интегрируя это выражение по ρ , получаем

$$H = -\frac{I}{16az^3} \left[\frac{\rho^3}{3} - 2(z^2 + a^2)\rho - (a^2 - z^2)^2 \frac{1}{\rho} \right]$$

Поле вне сферы, определяющим координату z , которая изменяется от $-\infty$ до $-a$ и от a до $+\infty$, находится как

$$H = \frac{Ia^2}{3z^3}$$

Таким образом, анализируя полученное выражение, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным диапазоном обрабатываемых размеров шариков являются диаметры 2-10 мм. Это связано с тем, что требуемую величину напряженности магнитного поля при MAO представляет численное значение, равное 100-500 А*м⁻¹. Максимально теоретически возможным для обработки методом MAO является размер шарика $d = 15$ мм.

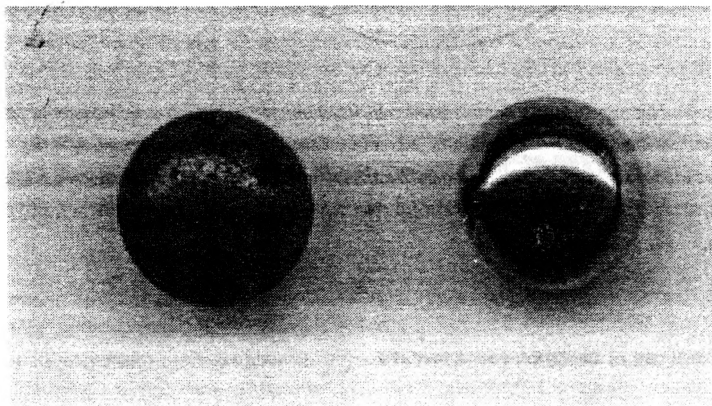


Рис. 2 Шарики до (справа) и после (слева) магнитно-абразивной обработки

Шарики, подвергаемые обработке методом MAO, соответствовали техническим требованиям 40 степени точности по ГОСТ 3722-81, рис. 2. При необходимости изменения частоты вращения (вращение нижнего сердечника шпинделя) осуществляется посредством замены сменных шкивов. Температура нагрева притиров не превышала 70-75°C. Для обработки использовалась паста, имеющая в своем составе ряд компонентов, среди которых: масло индустриальное И-40А ГОСТ 20799-75, фракция $C_{17} - C_{20}$ синтетических жирных кислот, окись хрома ОХА-0 ГОСТ 2912-79. Заполнение пастой канавки нижнего притира производится либо на станке при отключенной ЭМС, либо путем его снятия и крепления на столе, например, слесарного верстака.

Затем осуществляется укладка партии шариков и установка верхнего притира, используя шарики в качестве базы. Выполняется требуемая фиксация притиров и подключение электродвигателя и катушек ЭМС. Устанавливается рабочее давление в пневмоцилиндре, которое при автоматическом отключении электродвигателя необходимо привести к нулю. После достижения необходимого размера шариков путем их выборочного замера в ходе протекания процесса МАО они собираются, промываются нефрасом С 50/170 ГОСТ 8505-80 и просушиваются сжатым воздухом или протираются хлопчатобумажной тканью по ГОСТ 21790-93. Также следует убрать остатки пасты с поверхности притиров. В случае переточки притиров ввиду износа требуется произвести их приработку как при наличии магнитного поля, так и в его отсутствие при давлении 0,5-2 атм в течение 3-4 мин. Переточку притиров лучше всего осуществлять по фаскам канавок, а не по их тороидальной образующей. Катастрофический износ притиров определяется как один из вариантов быстрым перемещением стрелки индикатора, что указывает на необходимость прекращения обработки.

Для получения требуемого размера шариков и их необходимой степени точности следует учитывать то, что показания индикатора при проведении приблизительного контроля снимаются только при установившемся режиме обработки. В процессе обработки шариков достигнута 16 степень точности по ГОСТ 3722-81. Следует указать, что шероховатость поверхности в основном снижалась в начальный период (до 5 мин), а затем практически не изменялась. Уменьшение овальности и гранности происходит в течение всего времени обработки и достигает своих максимальных значений к окончанию процесса обработки. Также равномерно осуществляется сьем материала, рис. 3.

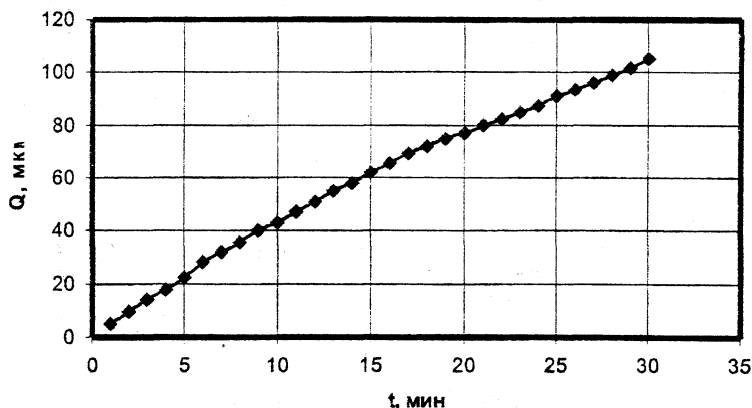


Рис. 3 Зависимость съема материала (Q , мкм) от времени обработки (t , мин) шариков $d = 3$ мм методом МАО

Выводы:

1. Путем создания физической модели магнитно-абразивной обработки шаровой сферы теоретически установлены геометрические размеры обрабатываемых шариков, что позволяет произвести прогнозирование процесса.
2. В результате использования данного процесса установлено, что достигаемая точность по ГОСТ 3722-81 составляет 16 при предшествующей обработке методом МАО – 40 для шариков диаметром от 2 до 10 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов П. Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки. – М.: Машиностроение, 1988 – 384 с.
2. Чембрович В. И., Филонов И. П., Козерук А. С. Финишная обработка стеклянных шариков // Тез. докл. МНТК «Совершенствование процессов финишной обработки в машино- и приборостроении», г. Минск, 1995, - с. 157.
3. Соханов С. В. О траекториях зерен при абразивной обработке деталей шарообразной формы // Сверхтвердые материалы, - 2000. - № 3 – с. 34 – 39.
4. Барон Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущего инструмента – Л.: Машиностроение, 1986, - 256 с.
5. Патент № 5044128 США
6. Патент № 97641 Румыния
7. Shinmura T., Takazawa K., Hatano E. etc. Study on magnetic abrasive finishing // CIRP Ann. 1990, v. 39, № 1, p. 325 – 328.
8. Wu Jian, Wang Min, Zuo Dunwen etc. Studies on magnetic abrasive machining // Trans. Nanjing Univer. Aeron. and Astron. 1997, v. 14, № 1, p. 44 – 49.
9. Иванов – Смоленский А. В. Электромагнитные поля и процессы в электрических машинах и их физические моделирование. – М.: Энергия, 1969, - 304 с.