

УДК 621.923

**Акулович Л.М.**, доктор технических наук, профессор;

**Сергеев Л.Е.**, кандидат технических наук, доцент;

**Стрига М.В.**, студент

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

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ**

***Аннотация.** Осуществлено моделирование топографии магнитной системы при использовании трех положений рабочего притира относительно полюсных наконечников. Установлено, что у поверхности полюсных наконечников с прямолинейным профилем происходит наибольшая концентрация магнитного потока. Выявлено, что достигаемая точность составляет 16 ГОСТ 3722 – 2014 при предшествующей обработке методом MAO 40 ГОСТ 3722–2014 для шариков диаметром от 2 до 4 мм.*

Широкое применение обработки шариков объясняется простотой реализации и достаточностью результатов при формообразовании сферической поверхности. Вместе с тем задача повышения производительности процесса обработки шариков с высокой степенью точности особенно актуальна на сегодняшний день. Однако общей проблемой предлагаемых решений остается трудность реализации кинематики процесса, которая должна обеспечивать трехосное вращение шариков в рабочей зоне. Поэтому при поиске оптимального решения постоянно приходится делать выбор между двумя требованиями: недопустимостью ухудшения качества обрабатываемых шариков, с одной стороны, и возможностью использования схем доводки, существующих в крупносерийном и массовом производстве шариков, с другой стороны. Основное требование для достижения необходимой шероховатости и точности сферической поверхности заключается в соблюдении одинаковых условий обработки всех участков обрабатываемой поверхности. Поэтому даже незначительная

разноразмерность шариков по диаметру в партии часто не позволяет добиться эквидистантного движения инструмента по обрабатываемой поверхности. Одним из путей решения данной проблемы является применение метода MAO[1 – 2]. В отличие от известных схем доводки шариков возможно использование не только кинематических и динамических факторов процесса, но и воздействия магнитных полей. При MAO необходимая равномерность обработки достигается изменением положения оси мгновенного вращения шариков, что положительно сказывается на производительности и качестве доводки деталей в форме шара.

Образцом для моделирования является сфера, вращающаяся с частотой  $n$  и находящаяся в магнитном поле, обусловленным наличием тока, равным 2 А. Главная задача заключается в определении напряженности магнитного поля на оси вращения вне шариков, считая известным поле на оси кругового тока, путем ее непосредственного интегрирования. Важным вопросом является определение топографии МП в рабочем зазоре и его влияние на процесс формирования ферроабразивной «щетки». Осуществлено моделирование топографии магнитной системы при использовании трех положений рабочего притира относительно полюсных наконечников (рис.1). Из рисунка 1 видно, что у поверхности полюсных наконечников с прямолинейным профилем происходит наибольшая концентрация магнитного потока. Следовательно, наиболее эффективно ФАП будет обрабатывать шарики в тех местах магнитного поля, где магнитная индукция имеет большее значение. Моделирование топографии магнитного поля производилось с применением программы *FEMM 4.2*.

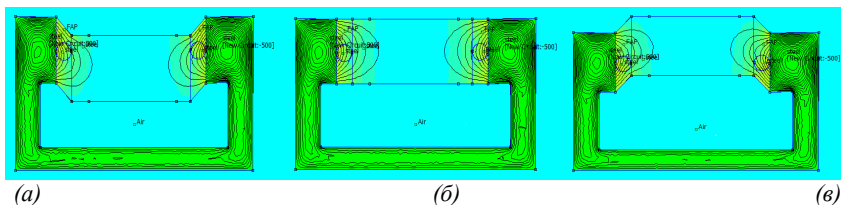


Рисунок 1 – Топография магнитного поля в (а) верхнем, (б) среднем, (в) нижнем положениях рабочего притира

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 МАО представляет численное значение, равное 100–500 А·м<sup>-1</sup>. Максимально теоретически возможным для обработки методом МАО является размер шарика  $d = 15$  мм. На операции окончательной доводки обрабатывались шарики из стали ШХ15 ГОСТ 801–78, HRC 58–62 диаметром от 2 до 4 мм, соответствующие техническим требованиям по 40 степени точности ГОСТ 3722–2014. Температура нагрева притиров не превышала 70–75°С. Для обработки использовалась паста, имеющая в своем составе ряд компонентов, среди которых масло индустриальное И – 40А ГОСТ 20799–93, фракция С<sub>17</sub>–С<sub>20</sub> синтетических жирных кислот, окись хрома ОХА-0 ГОСТ 2912–79. Режимы процесса МАО шариков:  $P$  – рабочее давление в пневмоцилиндре, 1,2–2,8 атм;  $n$  – частота вращения верхнего диска, 200–320 мин<sup>-1</sup>;  $I$  – сила тока электромагнитной катушки, 2,5–3 А;  $d$  – диаметр рабочей канавки диска, 140–235 мм. Биение диска, не более: радиальное – 0,1 мм; торцовое – 0,05 мм. Несоосность верхнего и нижнего сердечников, не более – 0,1 мм. Параметры электрической питающей сети:  $U = 380$  В,  $f = 50$  Гц. Диапазон магнитной индукции в рабочей зоне: 0,3–1,2 Тл (в зависимости от величины силы тока, подаваемого на электромагнитные катушки). На рисунке 2 представлена рабочая зона станка для магнитно-абразивной обработки шариков.

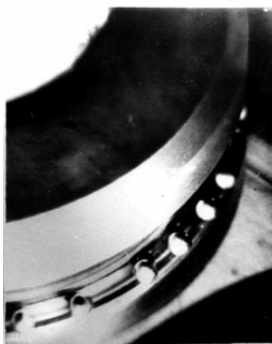


Рисунок 2 – Фотография рабочей зоны станка для магнитно-абразивной обработки шариков.

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. На рисунке 3 показан станок для MAO шариков с торообразной формой рабочей поверхности полюсов магнита, которая состоит из верхнего и нижнего полюсных наконечников электромагнита. Обработка шариков осуществляется ферромагнитным порошком в магнитном поле, создаваемом магнитной системой, состоящей из общего магнитопровода, сердечника с эксцентрично закрепленным на нем диском, катушек-соленоидов и сердечника с закрепленным на нем полюсным наконечником-диском. Сердечнику сообщается осциллирующее движение в осевом направлении. Амплитуда и частота осцилляции задаются генератором в зависимости от условий обработки. Кроме того, регулируется амплитуда поперечных колебаний полюсных наконечников от нуля до величины, равной величине кольцевого зазора  $\delta$ .

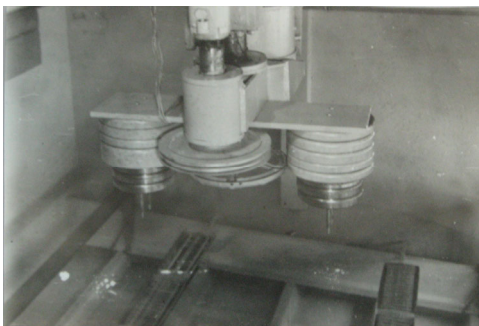


Рисунок 3 – Фотография станка для магнитно-абразивной обработки шариков

При вращении верхний и нижний полюсные наконечники получают поперечное колебание заданной амплитуды и частоты. Одновременно включают генератор, и нижний полюсный наконечник начинает вибрировать. Частицы порошка выстраиваются в магнитном поле по периметру окружности

рабочих канавок полюсов магнита и производят микрорезание поверхности шариков.

После достижения необходимого размера шариков путем их выборочного замера в ходе протекания процесса MAO они собираются, промываются нефрасом С 50/170 ГОСТ 8505–80 и просушиваются сжатым воздухом или протираются хлопчатобумажной тканью по ГОСТ 21790–2005. Также следует убрать остатки пасты с поверхности притириров. В случае переточки притириров 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 притириров лучше всего осуществлять по фаскам канавок, а не по их тороидальной образующей. Катастрофический износ притириров 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 3722–2014. 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, рисунок 4.

	Ряд 2	Ряд 3
0	0	
5	20	25
10	40	30
15	60	65
20	80	85
25	90	80
30	100	105

Рисунок 4 – Зависимость съема материала ( $\Delta G$ , мкм) от времени обработки ( $t$ , мин) шариков  $d = 3$  мм при магнитно-абразивной обработке

Таким образом, путем моделирования топографии магнитного поля при магнитно-абразивной обработке деталей сферической формы теоретически установлены геометрические размеры обрабатываемых шариков, что позволяет произвести прогнозирование процесса. В результате использования данного процесса установлено, что достигаемая точность составляет 16 ГОСТ 3722 – 2014 при предшествующей обработке методом MAO 40 ГОСТ для шариков диаметром от 2 до 4 мм.

Список использованных источников

1. Скворчевский, Н.Я. Эффективность магнитно – абразивной обработки/ Н.Я. Скворчевский, Э.Н. Федорович, П.И. Ящерицын – Минск: Наука і тэхніка, 1991. – 192 с.
2. Акулович Л.М. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин/ Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Минск: БГАТУ, 2019. – 272 с.

**Abstract.** The topography of the magnetic system is simulated using three positions of the working lapping relative to the pole tips. It is established that the greatest concentration of magnetic flux occurs at the surface of the pole tips with a rectilinear profile. It was revealed that the achieved accuracy is 16 ГОСТ 3722 – 2014 with previous processing by the MAT method 40 ГОСТ 3722 – 2014 for balls with a diameter of 2 to 4 mm.

УДК 621.785.796:669.1

**Анискович Г.И.**, кандидат технических наук, доцент;

**Шевчук М.А.**, ассистент

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

## **ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАКАЛКЕ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ**

**Аннотация.** В статье приводятся результаты исследований структурного состояния деталей почвообрабатывающих машин после специальной термической обработки изготовленных из кон-