

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

Сергеев Л.Е., доктор технических наук, доцент;

Алешко А.Ю., студент

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПОГРАФИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Аннотация. Моделированием топографии магнитного поля выявлена форма полюсных наконечников с наибольшей концентрацией магнитного потока. Установлено образование в рабочем зазоре зоны резания и зоны переориентации зерен ферроабразивного порошка, что приводит к изменению их координатного положения и обеспечивает эффект самозатачивания. Применение встречно направленных асимметрично серповидных наконечников позволяет получить высокие и однородные значения величины магнитной индукции по всей рабочей площади полюсных наконечников в зоне резания.

Abstract. Modeling the magnetic field topography revealed the pole piece shape with the highest magnetic flux concentration. The formation of a cutting zone and a reorientation zone for ferroabrasive powder grains in the working gap was established, leading to a change in their coordinate position and ensuring a self-sharpening effect. The use of counter-oriented, asymmetrically crescent-shaped pole pieces allows for high and uniform magnetic induction values to be achieved across the entire working area of the pole pieces in the cutting zone.

Ключевые слова. Магнитно-абразивная обработка, ферроабразивный порошок, магнитное поле, сложнопрофильные поверхности, магнитная индукция.

Keyword. *Magnetic abrasive machining, ferroabrasive powder, magnetic field, complex surfaces, magnetic induction.*

Экспериментальное исследование распределения магнитной индукции в рабочих зазорах, намагничиваемых П-образными постоянными магнитами типа Г23, было выполнено Ф. Ю. Сакулевичем с величиной магнитной индукции, равной $0,24 \pm 0,31$ Тл [1]. Результаты этого исследования послужили основой для последующего определения силовой топографии магнитного поля. Однако существенное ограничение экспериментов, проведенных Ф. Ю. Сакулевичем, состояло в том, что полученные результаты относятся к деталям простой геометрической формы и осуществляются в небольшом диапазоне измерений. При этом не учитывалось боковое рассеяние, возникающее при намагничивании объектов полюсными наконечниками. Опыт определения параметров магнитно-абразивной обработки (МАО) показал, что их измерение затрудняется из-за перераспределения магнитного потока внутри рабочего зазора между полюсами электромаг-

нитной системы (ЭМС) и над изделием [2]. При таком подходе не учитывается реальное неоднородное намагничивание объектов, исследование и полученные результаты являются преимущественно оценочными. Результаты эксплуатации приборов показывают, что в ряде случаев возникают трудности с использованием этих приборов, из-за чего не воспроизводятся при измерении контролируемых размеров. Поэтому для понимания процессов, происходящих при определении магнитной индукции и для расширения круга контролируемых изделий, в том числе и для оценки МАО сложнопрофильных поверхностей, необходимо исследовать пространственное распределение магнитного потока, как в рабочем зазоре, так и за его границами, которые проводились на станке СФТ 2.150.00.00.000. Рабочая зона станка СФТ 2.150.00.00.000 показана на рисунке 1.

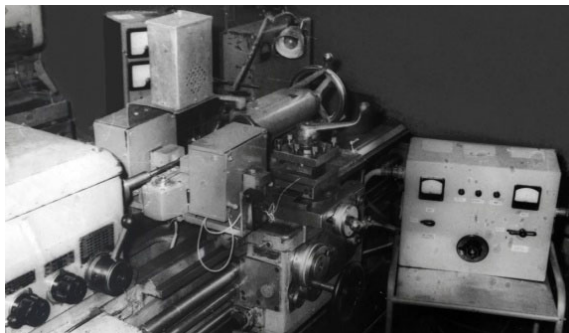
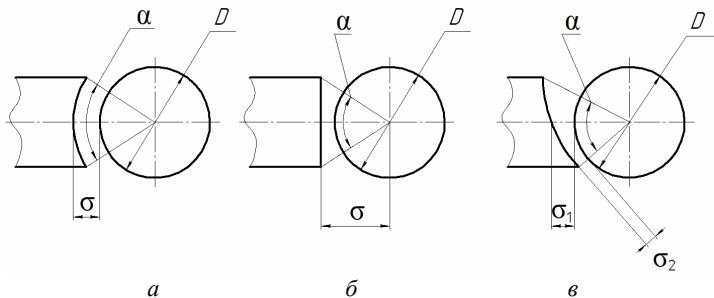


Рисунок 1 – Фотография рабочей зоны станка СФТ 2.150.00.00.000

Методика исследований основана на полученных экспериментальным путем результатах при одинаковых размерах ЭМС. Экспериментальное исследование с целью определения оптимального месторасположения и размеров полюсных наконечников, в которых распределение магнитных потоков заведомо неоднородно, производилось при использовании выпрямленного тока величиной 4 А в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.4.119103.



a – с эквидистантным зазором; *б* – с плоским зазором; *в* – с серповидным зазором
Рисунок 2 – Схемы рабочего зазора при МАО

Схемы рабочего зазора при магнитно-абразивной обработке различной формы представлены на рисунке 2. Полюсные наконечники изготавливали из стали 10 ГОСТ 1050–88, остаточная индукция которой равняется $B_r = 0,6$ Тл, напряженность, необходимая для получения остаточной индукции такого значения $H_r = 3200$ А/см. Размеры полюсных наконечников составляют: высота – $60 \div 100$ мм, ширина – $80 \div 120$ мм. Величина рабочего зазора при эквидистантной форме имеет диапазон $0,5 \div 3$ мм, при плоской и серповидной – $1 \div 5$ мм. С целью исследования пространственного распределения магнитного потока в рабочем зазоре для сложнопрофильных поверхностей использованы экспериментальные методы для решения осесимметричных задач определения топографии МП наружных и внутренних сферических поверхностей и МП конических поверхностей.

Способ и средства достоверного определения магнитного поля в рабочем зазоре магнитопровода состоят в следующем: измерение осуществлено в трех плоскостях (верхняя и нижняя границы магнитопровода и его средняя часть), полюсные наконечники изготовлены из Ст.3 ($\chi_{\max} \approx 2500$, $H_c \approx 330$ А/м), их магнитная индукция не достигает значений магнитной индукции насыщения при магнитодвижущей силе 1200 Ампер-витков. Погрешность измерения заключается в том, что размер зоны измерения составляет диапазон $0,1 \div 0,5$ мм, ошибка выставления – 0,5 мм. Точность измерения обеспечена стабильностью источников питания и калибровкой датчиков, учтена статистическая ошибка из-за переноса датчика, который расположен в плоскости вдоль образующей на отклонении 0,5 мм. Задача нахождения значений магнитной индукции на отдельных участках магнитной цепи носит итерационный характер. Возможность измерения внутреннего поля внешним датчиком основывается на непрерывности магнитной индукции на границе – ферромагнетик – изделие. Измерение внутреннего поля возможно, если внешнее поле измеряется непосредственно на поверхности объекта.

Допустимые удаления рабочей области датчика от поверхности объекта составили 0,5 мм, 1,5 мм и 4 мм от поверхности значения магнитного поля в межполюсном пространстве над поверхностью измеряемых объектов. Это означает, что при измерении величины внутреннего поля датчик поля находится в межполюсном пространстве без удаления от поверхности объекта. Оригинальность измерения значений МП в межполюсном пространстве магнитопровода заключается в использовании датчика поля типа гибкий зонд для реализации данных измерений в труднодоступных зонах сложнопрофильных поверхностей деталей. Геометрические размеры зонда, выполненного из проволоки 79НМ ГОСТ 10160–75 диаметром 0,1 мм, составляют $6 \times 4 \times 0,1$ мм. Для его изготовления использован материал из магнитомягкого ферромагнетика (высокониелевый пермаллой), который отличается низкими потерями на перемагничивание ($H_c \approx 6,4$ А/м) и высокой магнитной проницаемостью ($\chi_{\max} \approx 50$ мкГ/м) с целью получения линейной зависимости датчика от значений МП. Датчик поля типа гибкий

зонд относится к индукционным магнитомерам, принцип действия которых основан на измерении переменной э.д.с., индуцируемой в катушке соленоида при изменении потокосцепления с ней магнитного потока.

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что применяемые для намагничивания П-образные полюсные наконечники недостаточно эффективно намагничивают межполюсное пространство наружных и внутренних сферических поверхностей и конических поверхностей. Плотность магнитного потока в рабочем зазоре на локальных участках таких ЭМС в 3÷5 раз больше, чем в около полюсной зоне. При этом основная часть межполюсного пространства оказывается слабо намагниченной, а величины магнитной индукции при плоском зазоре характеризуют его экспоненциальную зависимость от увеличения рабочего зазора.

Эквидистантный зазор характеризуется равномерным распределением магнитного поля по радиусу объекта и отсутствием образования флюкула за границами рабочего зазора. Однако снижение бокового рассеяния и концентрация магнитного потока в рабочем зазоре приводит при MAO наружных и внутренних сферических поверхностей и конических поверхностей к отсутствию переориентации зерен ФАП. Трудности в обеспечении образования требуемого перебега зерен препятствуют самозатачиванию ферроабразивной «щетки» и снижают эффективность процесса MAO сложнопрофильных поверхностей.

Моделирование пространственного распределения магнитного потока показывает, что необходимо использовать встречно направленные асимметрично серповидные наконечники для увеличения магнитной индукции в рабочем зазоре. Установлено образование в рабочем зазоре зоны резания и зоны переориентации зерен ФАП, наличие которой приводит к изменению их координатного положения, что обеспечивает эффект самозатачивания. Для количественного определения бокового рассеяния была выявлена процентная доля магнитного потока, выходящего за профиль полюсов электромагнита в плоскостях верхней и нижней границ рабочего зазора от величины потока в магнитопроводе, которое составляет 7÷10 %.

Список использованных источников

1. Сакулевич, Ф. Ю. Основы магнитно-абразивной обработки /Ф. Ю. Сакулевич. – Минск : Наука и техника, 1981. – 326 с.
2. Акулович, Л. М. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин /Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев. – Минск : БГАТУ, 2019. – 272 с.

Summary. Modeling the spatial distribution of magnetic flux shows that it is necessary to use counter-directional, asymmetrically crescent-shaped tips to increase the magnetic induction in the working gap. To quantify lateral scattering, the percentage of magnetic flux extending beyond the electromagnet pole profile in the planes of the upper and lower boundaries of the working gap was determined, relative to the flux in the magnetic circuit, which is 7–10%.