

ферромагнитных порошков имеет мелкодендритное строение с равномерным распределением легирующих элементов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы) / В.И. Черноиванов, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.
2. Горохова, М.Н. Повышение эффективности комбинированного способа восстановления деталей ферромагнитными порошками : автореф. дис. ... док. техн. наук / М.Н. Горохова ; ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии. – М., 2013. – 32 с.
3. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.
4. Акулович, Л. М. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин / Л. М. Акулович, Л.Е. Сергеев – Минск : БГАТУ, 2019. – 272 с.

УДК 621.923

## МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ШАРОВЫХ ПАЛЬЦЕВ ШАРНИРОВ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Акулович Л.М., д.т.н., профессор; Сергеев Л.Е., к.т.н., доцент**

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»*

**Введение.** В настоящее время для финишной обработки сложнопрофильных поверхностей тел вращения требуется создание дорогостоящих специальных абразивных инструментов, у которых профиль режущей кромки должен геометрически или программно отражать топологию обрабатываемой поверхности. При обработке таким инструментом поверхностей с переменной кривизной изменяются значения фактических углов резания, поскольку давление инструмента и скорость резания на различных участках контура деталей имеют разные значения. В результате на

отдельных участках обрабатываемых поверхностей возникают погрешности формы и разброс параметров шероховатости, что приводит к неоднородности показателей качества и требует дополнительных доводочных операций, выполняемых, как правило, вручную.

**Основная часть.** Альтернативным вариантом финишной обработки сложнопрофильных поверхностей тел вращения могут быть технологии с использованием концентрированных потоков энергии, одной из которых является магнитно-абразивная обработка (МАО) [1]. За последние десятилетия в машиностроении одним из основных критериев рентабельности любого производства является постоянное обновление производимого модельного ряда выпускаемой продукции (автомобилей, станков, тракторов и др.). Подобная номенклатура современного мирового рынка формирует способность оперативно реагировать на изменение условий мировой экономики и перестраиваться на выпуск более современной и эффективной продукции. К такой продукции относятся детали с наружными неполными сферическими поверхностями, например, шаровые пальцы рулевого управления, шарниры подвески и т.п. Объем рынка производства шаровых пальцев представлен на основе выпуска грузовых автомобилей МАЗ (Беларусь), который за 2020 г. составил 11460 штук, согласно данным журнала «Autoversity». Однако сложность расчета электромагнитного поля (ЭМП) для МАО сложнопрофильных поверхностей обусловлена нестационарностью градиента магнитной индукции в рабочей зоне, вызванной изменением геометрической формы обрабатываемых поверхностей в пространстве и во времени. Существует ряд работ [2, 3], в которых представлены исследования параметров и источники МАО, однако решение задачи производится графическим способом, который не учитывает реального неоднородного намагничивания вещества и объектов. Поэтому эта информация пригодна лишь для анализа конкретного устройства и обычно не поддается обобщению. Такой подход не удовлетворяет требованиям современного производства и затрудняет процесс конструирования нового оборудования. Поэтому исследование топографии поля и распределение магнитной индукции необходимо для правильного выбора конструкции и размеров электромагнитной системы (ЭМС).

Для оптимизации зазоров при МАО в широком диапазоне диаметров, минимизации массогабаритных размеров, оценки эффективности разрабатываемых ЭМС проведено компьютерное моделирование, которое объясняется необходимостью сокращения сроков их разработки, в том числе наличием эффективных алгоритмов и программ компьютерного моделирования магнитных полей. Оно состоит в численном решении системы уравнений Максвелла при заданных граничных условиях, для которого широко используется программная среда Femm [4]. Исследование однородности магнитного потока проводили для следующих форм полюсных наконечников: плоский, эквидистантный и встречно направленный асимметрично серповидный (далее серповидный). При анализе ЭМП методом конечных элементов можно получить приемлемые результаты, используя ограниченный объем вычислительных ресурсов. Поэтому постановка задачи, выбор граничных условий и построение сетки конечных элементов с оптимизированным количеством узлов и размером ячеек является важным и сложным этапом моделирования ЭМП. Распределение магнитного поля ЭМС в виде двумерной модели, развернутой в пространстве, представлено на рисунке. В области плоского зазора наибольшая концентрация линий магнитной индукции достигается в его средней части между поверхностью разрыва магнитопровода и максимальным диаметром неполной сферы исследуемого образца (0,74 Тл). На верхней и нижней границе рабочего зазора величина магнитной индукции у поверхности разрыва магнитопровода составляет величину 0,16 ÷ 0,18 Тл. В пространстве вне рабочего зазора происходит выпучивание магнитного потока, заключающееся в вытеснении магнитного потока из рабочего зазора и образование флюкуляции, величина которой равна 0,13 Тл, что достигает порядка 15 % от общей величины магнитного потока, рисунок, а). В эквидистантном зазоре наблюдается достаточно равномерное распределение магнитного поля по радиусу сферы и низкий уровень образования флюкул за границами рабочего зазора, рисунок 1, б).

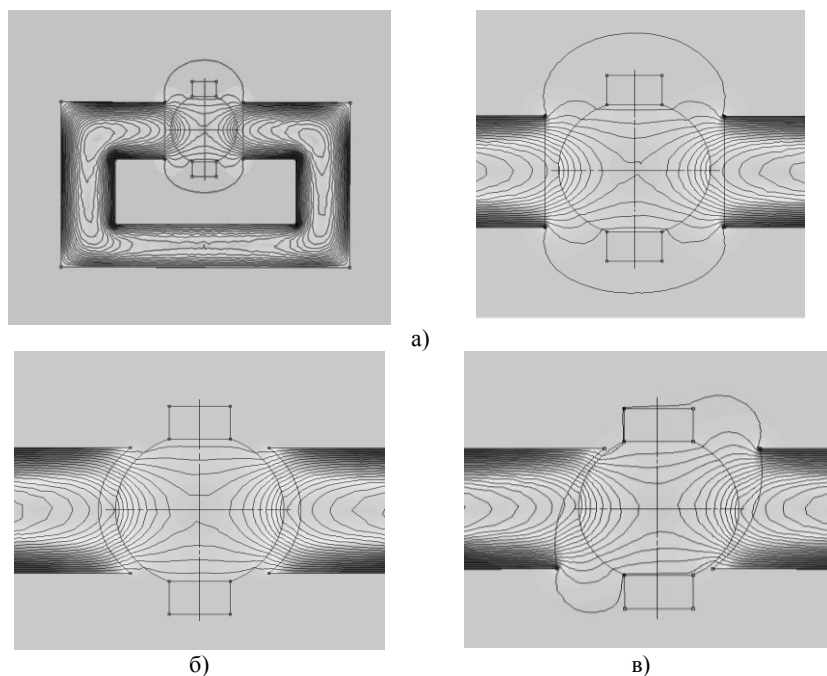


Рисунок 1. –Топография МП в рабочем зазоре для наружных сферических поверхностей  
 а) плоский; б) эквидистантный; в) серповидный

При малых зазорах наблюдается концентрация магнитного поля, что приводит к уплотнению зерен ферроабразивного порошка (ФАП) и невозможности их переориентации. Увеличение давления на подобных локальных участках является причиной разрушения зерен ФАП ввиду непрочности соединения частиц железной матрицы и абразивной составляющей. Распределение магнитной индукции на поверхности объекта при различных зазорах от 0,5 до 5 мм составляет значения от 0,69 до 0,071 Тл. Преодоление указанных ограничений заключается в уменьшении локального межполюсного расстояния при использовании встречно направленных асимметрично серповидных наконечников на полюсах электромагнита, рисунок, в). Величина магнитной индукции на сферической поверхности объекта на верхней границе рабочего зазора составляет величину 0,57 Тл, на нижней – 0,83 Тл, в средней части – 0,72 Тл. При величине рабочего зазора  $\delta = 1$  мм

происходит наиболее равномерное распределение магнитного поля в рабочей зоне (от 0,83 до 0,33 Тл). При увеличении зазора до 5 мм осуществляется плавное уменьшение магнитной индукции при удалении от центра ЭМС (от 0,83 до 0,25 Тл). При равных геометрических размерах обрабатываемого изделия значение магнитной индукции в межполюсном пространстве превышает 0,9 Тл, а на высоте 4 мм величина магнитной индукции изменяется в пределах  $0,3 \div 0,22$  Тл, что значительно превышает индукцию вблизи поверхности плоского зазора ЭМС (0,13 до 0,03 Тл). В пространстве вне рабочего зазора происходит выпучивание магнитного потока, заключающееся в его вытеснении из рабочего зазора и образование флюкуляции, величина которой равна 0,07 Тл, что составляет порядка 7 % от общей величины магнитного потока. Комплекс движений детали создает условия для увеличения давления ФАП на обрабатываемую поверхность, обеспечивая рост производительности и равномерность съема металла.

**Заключение.** Параметры и режимы МАО шаровых пальцев шарниров рулевого управления: скорость резания,  $V_p = 1,5 \div 2,5$  м/с; скорость осцилляции,  $V_o = 0,15 \div 0,25$  м/с; амплитуда осцилляции,  $A = 2,5$  мм; величина рабочего зазора,  $\delta = 1$  мм; магнитная индукция,  $B = 1,1$  Тл; коэффициент заполнения рабочего зазора,  $K_z = 1$ ; время обработки,  $t = 60$  с. ФАП – Р6М5, СОТС – патент РБ № 23142, 3 %-й водный раствор. Осуществлена магнитно–абразивная обработка образцов шаровых пальцев рулевого управления. При этом достигнута шероховатость поверхности  $R_{a2} = 0,6 \div 0,8$  мкм при исходной  $R_{a1} = 1,8 \div 2,2$  мкм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Акулович, Л.М. Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля / Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев. – Минск: БГАТУ. – 2013. – 372 с.

2. Тодоров, Н. Х. Система за автоматизирано проектиране на процеси за МАО / Н. Х. Тодоров, Р. Д. Пиперкова // Докл. III Междунар. науч. – техн. сем. по технологиям финишной обработки «АМО’87», Варна, Централния машиностроителен ин – т ; редкол. Б. Г. Македонски [и др.] – Варна, 1987. – С. 82–86.

3. Сакулевич, Ф. Ю. Объемная магнитно-абразивная обработка / Ф. Ю. Сакулевич, Л. М. Кожуро. – Минск: Наука и техника, 1978. – 238 с.

4. Приступ, А. Г. Моделирование магнитных полей в программе FEMM / А. Г. Приступ, А. В. Червяков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – 92 с.

УДК 631.3:629.114.2

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОЛЕВЫХ РАБОТ**

**Гордеенко О.В., к.т.н., доцент; Арцименя М.В., Гринкевич М.А.**

*Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»*

**Введение.** Применение новых прогрессивных технологий, основанных на использовании широкозахватных, комбинированных МТА на базе энергонасыщенных колесных тракторов, позволяет повысить производительность, снизить погектарный расход топлива, высвободить механизаторские кадры. Рациональное комплектование МТА с передним и задним навесными устройствами должны обеспечивать жёсткие требования технологий обработки почвы, посева, ухода и уборки урожая. Рост интенсивности сельскохозяйственных работ, особенно в период посевной и уборочной кампании, связан с необходимостью увеличения тяговых свойств МТА. В связи с этим важнейшее значение приобретает изучение и использование конструктивных решений, от рационального сочетания которых МТА имеет наибольший к. п. д. и наилучшие тягово-сцепные показатели.

**Основная часть.** Значительная часть сельскохозяйственных работ выполняется с помощью колесных тракторов. Для увеличения производительности и сокращения проходов по полю,