

3. Кобчиков, В.С. Технология магнитно – абразивного полирования изделий из твердых сплавов: автореф., дисс. ... канд. техн. наук./ В.С. Кобчиков; Ленингр. политех. ин-т. - Ленинград.: 1983. – 16 с.
4. Сакулевич, Ф.Ю. Объемная магнитно-абразивная обработка / Ф.Ю. Сакулевич, Л.М. Кожуро. – Мн.: Наука и техника, 1978. – 168 с.
5. Панченко, В.М. Исследование технологических возможностей магнитно – абразивной обработки для повышения эксплуатационных свойств деталей машин. Автореф., дис. ...канд. техн. наук/ В.М. Панченко; Физико-технический ин-т АН БССР – Брянск, 1976. – 24 с.
6. Патент 5020 от 12.11.2008 Устройство для магнитно-абразивной обработки.
7. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 172 с.

Аннотация

Магнитно-абразивная обработка сборных резцов проходческих комбайнов

В статье исследуется возможность использования магнитно-абразивной обработки как финишной операции при изготовлении сборных многокомпонентных изделий, состоящих из материалов с различными физико-механическими свойствами.

Abstract

Magnetic-abrasive treatment of prefabricated incisors continuous miner

In article possibility of use of magnitno-abrasive processing as finishing operation at manufacturing of national teams multicomponent products consisting of materials with various physicommechanical properties is investigated.

УДК 621.923

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ БОЛЬШИХ ДИАМЕТРОВ

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

Лебедев В.Я., к.т.н. доцент; Бабич В. Е., Сенчуров Е.В.

Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Введение. Известно, что обработка отверстий является более сложной задачей, чем сопряженных и образующих с ними контактную пару наружных поверхностей. Существует ряд технологических операций для достижения требуемых показателей качества поверхности. Особая роль отводится финишным операциям. К ним относятся традиционные методы обработки шлифованием, хонингованием, суперфинишированием, доводкой. Однако каждому из этих методов сопутствует набор определенных «узких мест», снижающих эффективность их использования. В связи с изложенным актуально проведение постоян-

ной работы по интенсификации известных и созданию новых высокопроизводительных способов механической обработки. Одной из таких финишных операций является магнитно-абразивная обработка (МАО) [1 – 3].

Постановка задачи исследования. Поскольку диаметры отверстий деталей машин согласно ISO вписываются в типоразмер от 1 мм до 10000 мм и более, то для указанных выше операций, МАО в частности, существует дифференциация технологического решения этой проблемы. Согласно [3], имеется три варианта схем МАО отверстий (рисунок 1), которые объединены одним общим условием, а именно: размещением ферро-абразивного порошка (ФАП) в рабочей зоне этого отверстия. Однако в первом варианте (рисунок 1а) в отличие от всех остальных отсутствует внутренний полюсный наконечник, что делает эту схему пригодной для обработки, во-первых, для пара- и диамагнитных материалов, во-вторых, для диапазона отверстий до 30 мм [4]. Указанные недостатки снижают технологические возможности метода МАО, что послужило основой для дальнейшей его интенсификации. Одним из путей этой интенсификации является создание нового типа конструкции электромагнитной системы (ЭМС) на базе введения еще одной ветви для типоразмера 30 – 150 мм и двух N – S для типоразмера более 150 мм.

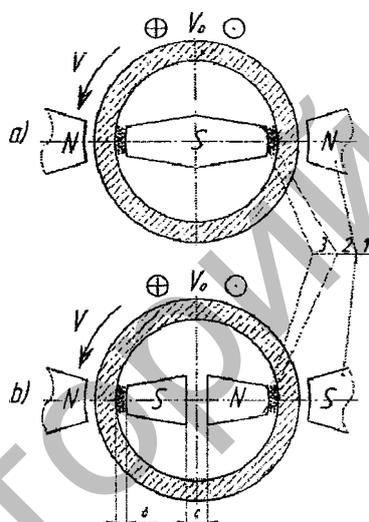


Рисунок 1 – Схема магнитно-абразивной обработки

Применение конструкции ЭМС с двумя дополнительными ветвями N – S позволяет проводить обработку отверстий методом МАО до 1500 мм, как черных, так и цветных металлов. Вместе с тем проблемой для этой схемы служит проявление эффекта близости двух полюсных наконечников, что приводит, согласно законам электромагнетизма, либо к их взаимному отталкиванию, либо к сближению в зависимости от их полярности. Исключить факт его существования не представляется возможным [5]. В связи с изложенным и возникает необходимость из-за различия диаметров отверстий в определении этого расстояния δ (рисунок 1в), между полюсными наконечниками. Это необходимо, чтобы, с одной стороны, минимизировать данное воздействие магнитных полей друг на друга и, следовательно, их утечки, а с другой, – достичь оптимальных габаритных размеров ЭМС и снизить ее материалоемкость. Ранее принимаемые пути решения этой проблемы были направлены на поиск наиболее эффективных схем МАО с двойным полюсным наконечником путем их экспериментального подбора и практической реализации без учета моделирования электромагнитных полей, что, в конечном счете, привело к увеличению модификаций установок и их вариантов. Такой подход приводит к увеличению затратного механизма на комплексе НИОКР и ОТР из-за отсутствия унификации данных конструкций. Следова-

тельно, при получении информационного массива, выявляющего общую закономерность построения схем МАО с двойным полюсным наконечником, уменьшается трудоемкость их изготовления и реализуется возможность создания таких конструкций независимо от типоразмера обрабатываемого отверстия деталей. В конечном счете это приводит к снижению себестоимости выпускаемой продукции.

Методы исследования и оборудование.

Цель проведения эксперимента заключается в установлении возможности применения двойного полюсного наконечника для МАО отверстий крупногабаритных подшипников для повышения производительности обработки и улучшения качества поверхности. Известно, что крупногабаритные подшипники подвергаются контролю не только по показателям шероховатости, овальности и т.д., но и на наличие остаточных сжимающих напряжений.

Образцами для проведения экспериментов служили внутренние обоймы подшипников ТУ 37.006.162-89 №2007136 и №2007948, диаметр отверстия которых равняется 180 мм и 240 мм, материал – сталь ШХ15 ГОСТ 801-78, 58 – 62 HRC₃. Исходная шероховатость поверхности образцов составляет $Ra_1=1,6—2,8$ мкм. Оборудование – станок ЭУ-6, ферро-абразивный порошок (ФАП) Ж15 КТ ТУ 6-03-09-483-81, размерность частиц $\Delta=100/160$ мкм, смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) – СинМА-1 ТУ 38.5901176-91, 2%-ный водный раствор, капельная подача принудительным способом, удельный расход 200 – 250 мл/мин. Параметры и режимы обработки: магнитная индукция, $B=0,9—1,1$ Т; сила тока, подаваемого на катушки соленоидов ЭМС $I=4—6$ А; скорость вращения детали $V_{sp}=1,5—3$ м/с; скорость осцилляции $V_o=0,1—0,25$ м/с; амплитуда осцилляции $A=1—4$ мм; коэффициент заполнения рабочего зазора $K_z=1$; величина рабочего зазора $\delta=1—3$ мм; время обработки $t=90—120$ с. Выходными показателями служили: достигаемая шероховатость поверхности Ra_2 , мкм; величина размерного съема, мкм; величина остаточных напряжений, МПа. Для их установления использовалось: профилограф-профилометр «Калибр—252», микроскоп «БМИ-1», прибор «УРС-50И» при учете смещения рентгеновских линий (211) α .

Шлифование, будучи связано с высоким уровнем локальных температур в зоне резания, приводит к росту растягивающих напряжений, что служит очагом будущего питтинга поверхностного слоя детали. Поэтому использование операции, обеспечивающей устранение дефектного слоя материала и образование требуемого микрорельефа поверхности и ее структуры, является необходимым компонентом разработки прогрессивного технологического маршрута изготовления такого рода деталей.

Поскольку выходные показатели процесса МАО отвечают вышеуказанным требованиям, то очевидна целесообразность расчета ЭМС и создания на этой базе оснастки для реализации данного процесса. Такая цель достигается путем определения потерь между двумя ветвями двойного полюсного наконечника, которые представлены цилиндрическими проводниками. Установление этих потерь позволяет выявить эффективность этой схемы для достижения заданных показателей качества обрабатываемых поверхностей деталей методом МАО. Также присутствует необходимость учета нелинейной зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля H , что выражается некоторым приближением в расчетах. Однако при установлении плотности тока вдоль контура можно выявить потери в проводнике и на основании этих величин определить оптимальное расстояние между проводниками, которые по своей сущности будут представлять собой двойной полюсный наконечник.

Расчет ЭМС. Потери в проводнике или системе проводников можно определить, если известно распределение плотности тока вдоль их контура, что адекватно распределению зарядов на поверхности данных проводников. Поскольку глубина проникновения является величиной конечной, то и плотность тока изменяется по величине вследствие изме-

нения расстояния. В нашем случае в качестве приближения к модели, реально отображающей физику процесса, применяется то условие, что проводники, то есть левая и правая ветви двойного полюсного наконечника для ЭМС, представляют собой правильное круговое сечение. Эту задачу можно решить конформным отображением данного профиля проводника по окружности, электростатическое поле которой известно. Поскольку имеется поле плоскости $z=x+jy$ для кривой контура сечения, заданной соотношением $F(x,y)=0$, то контур несет общий заряд. Пусть на плоскости $w=u+jv$ лежит окружность $|w|=r$, $u^2+v^2=r^2$ с тем же общим зарядом. Скалярный потенциал электрической индукции этой окружности в комплексной форме:

$$v = \frac{Q}{l} \ln w + c.$$

Если известна функция $w=f(z)$, конформно отображающая указанную окружность на кривую $F(x,y)=0$ в плоскости z , потенциал в этой плоскости будет:

$$v = \frac{Q}{l} \ln f(z) + c. \quad (1)$$

Продифференцировав v по z , получим поле электрической индукции. Если подставим вместо $z=x+jy$ значения, соответствующие заданному контуру $F(x,y)=0$, то получим распределение электрической индукции вдоль контура. Так как линии индукции перпендикулярны поверхности, они одновременно являются искомым распределением заряда:

$$D = \sigma_0 = \left| -\frac{dv}{dz} \right| l, \quad (2)$$

где l – распределение вдоль контура.

Замена заряда на граничную плотность тока $\sigma_0 = \frac{I\sqrt{2}}{a}$, где a – глубина проникновения, уравнение 1 имеет вид

$$v = \frac{I\sqrt{2}}{2\pi a} \ln f(z) + c. \quad (3)$$

Неизвестные потери в проводнике определяются:

$$I^2 R = \rho \frac{a}{2} \int \sigma_0^2 ds, \quad (4)$$

где R – сопротивление проводника;
 ρ – радиус кривизны в данном месте указанного контура;
 a – глубина проникновения тока.

Таким образом, потери в двух параллельных проводниках круглого сечения при большой магнитной проницаемости определяются согласно уравнению

$$(x+d)^2 + y^2 = r^2 \quad (5)$$

На рисунке 2 показано расположение проводников.

Функция $w = f(z) = \frac{z+b}{z-b}$ отображает вне окружностей в плоскости z на пространство между двумя окружностями в плоскости w . Окружность $(x+d)^2 + y^2 = r^2$ в левой плоскости z отображается в плоскости w на внутреннюю окружность радиусом $\frac{r}{d+b}$; правой окружности $(x-d)^2 + y^2 = r^2$ соответствует внешняя окружность радиусом $\frac{d+b}{r}$.

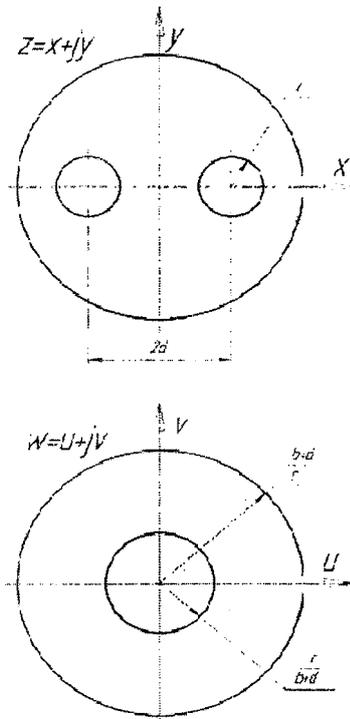


Рисунок 2 – Схема сечения цилиндрических проводников

Выполняя операции в следующей очередности (1)-(2)-(5), получаем

$$v = \frac{I\sqrt{2}}{2\pi a} \ln \frac{z+b}{z-b} \quad (6)$$

$$-\frac{dv}{dz} = \frac{I\sqrt{2}}{2\pi a} \cdot \frac{2b}{z^2 - b^2},$$

$$|z^2 - b^2| = |x^2 - y^2 + 2jxy - b^2| = 2xr,$$

$$\sigma_0 = \frac{I\sqrt{2}}{2\pi a} \cdot \frac{b}{x},$$

$$I^2 R = \rho \frac{a}{2} \oint \sigma_0^2 ds.$$

Для правого проводника

$$ds = \frac{rdx}{\sqrt{r^2 - (x-d)^2}},$$

следовательно,

$$I^2 R = \oint \frac{a}{2} \left(\frac{I\sqrt{2}}{2\pi a} \right)^2 \cdot 2 \int_{d-r}^{d+r} \frac{br^2 dx}{x^2 \sqrt{r^2 - (x-d)^2}} = I^2 \frac{\rho b^2}{2\pi a} \int_{d-r}^{d+r} \frac{dx}{x^2 \sqrt{r^2 - (x-d)^2}}.$$

Вычисление интеграла дает выражение

$$\frac{d}{b^3} \left[\frac{b}{x} \sqrt{r^2 - (x-d)^2} + \arcsin \frac{xd - b^2}{2x} \right]_{d-r}^{d+r} = \frac{\pi d}{b^3}.$$

Потери в правом проводнике равны

$$I^2 R = I^2 \frac{\rho}{2\pi a} \cdot \frac{d}{\sqrt{d^2 - r^2}}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует, что потери в левом проводнике определяются аналогично. Потери имеют наибольшую величину при соприкасающихся проводниках. Проведенный расчет показывает, что увеличение размера δ (рисунок 3) не является препятствием для конструирования такого рода ЭМС, ввиду незначительности разницы этих потерь по зоне обработки. Следовательно, в этом случае утечки магнитного потока в ЭМС с двойным полюсным наконечником будут также находиться в диапазоне реализации процесса MAO, которая была использована для обработки. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице. Кроме того, установлено, что в данном случае зона обработки каждого полюсного наконечника представляет большую величину, чем при использовании только одинарного. Это связано с необходимостью всякий раз с увеличением диаметра обрабатываемого отверстия производить уменьшение зоны контакта одинарного полюсного наконечника для сохранения показателя магнитной индукции, являющейся силовым фактором процесса MAO. Поэтому применение одинарного полюсного наконечника имеет место для финишной обработки крупногабаритных подшипников, однако по мере роста их диаметральных размеров резко падает производительность процесса по ранее указанной причине. В связи с этим возникает вопрос о создании уже двойного полюсного наконечника, использование которого обеспечивает технико-экономические показатели процесса MAO отверстий данных подшипников, но проблемой становятся утечки магнитного потока из зоны обработки. На основании произведенного расчета выявлено, что существует возможность как создания этой схемы, так и практической ее реализации. Путем регулирования изменения размеров $2d$, r и δ определена оптимальная конструкция двойного полюсного наконечника, обеспечивающая эффективность ее применения, заключающегося в достижении требуемых выходных показателей процесса MAO отверстий крупногабаритных подшипников.

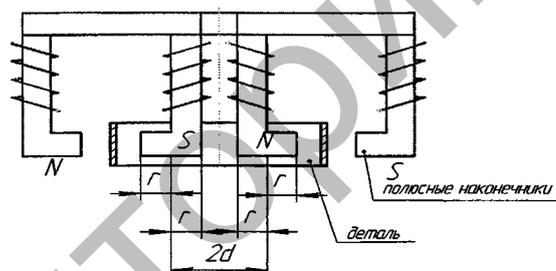


Рисунок 3 Схема ЭМС с двойным полюсным наконечником

Таблица 1 – Показатели качества подшипников после MAO с применением одинарного и двойного полюсных наконечников

Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	Достигаемая шероховатость поверхности, R_{a2} , мкм		Величина размерного съема, мкм		Величина остаточных сжимающих напряжений, МПа	
	двойной	одинарный	двойной	Одинарный	двойной	одинарный
Ø160	0,09 – 0,24	0,44-0,69	25-45	5-12	950-1100	840-900
Ø240	0,12 – 0,23	0,36-0,58	35-55	8-14	870-980	760-870

Выводы. В результате проведенных НИОКР установлена возможность использования двойного полюсного наконечника как технологической оснастки для MAO отверстий крупногабаритных подшипников, разработана и создана его конструкция, что обеспечивает достижение заданных показателей качества и производительности, при сокращении энергопотребления при обработке деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скворчевский Н. Я., Федорович Э. Н., Яцерицын П. И. Эффективность магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука і техника, 1991. – 216 с.
2. Горохов, В. А. Технология обработки материалов. Мн.: Беларуская навука, 2000. – 439 с.
3. Барон, Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущего инструмента. – Л.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
4. Каргалов Н. И. А. с. № 55509 СССР.
5. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. М.: Гардарики, 2003. – 317 с.

Аннотация

Интенсификация магнитно-абразивной обработки отверстий больших диаметров, применением двойной магнитной обработки

Показано, что на основании проведенных теоретических исследований и моделирования технологического процесса магнитно-абразивной обработки установлена возможность его эффективного применения с использованием двойного полюсного наконечника при обработке отверстий и определены условия для достижения требуемых показателей качества и надежности деталей машин.

Abstract

Intensification of magnetic-abrasive processing of large-diameter holes, using a double magnetic treatment

It is shown, that on the basis of the lead theoretical researches and modelling of technological process a magnet-abrasive of processing the opportunity of its effective application with use of a double polar tip is established at processing apertures and conditions for achievement of demanded parameters of quality and reliability of details of machines are certain

УДК 721.785

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕРХНОСТНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОЧВОРЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДИФфуЗИОННЫМ НАМОРАЖИВАНИЕМ ПОГРУЖЕНИЕМ В РАСПЛАВ

Бетенья Г.Ф., к.т.н., доцент, **Анискович Г.И.**, к.т.н., доцент
*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Почворежущие элементы серийного изготовления относятся к быстроизнашивающимся деталям. Типовыми представителями таких деталей являются: долота и лемехи плугов, оборотные рыхлительные лапы культиваторов, зубья борон, полозковые сошники и черенковые ножи сеялок, ковшовые зубья мелиоративных экскаваторов и др. детали. Их ресурс, как правило, в 2-4 раза меньше средней наработки одного полевого сезона [1,2].